

Univerzita Karlova v Praze  
Přírodovědecká fakulta  
Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie Studijní obor: Geografie a kartografie



Michal Kowalski

**DYNAMIKA VÝVOJE SNĚHOVÉHO  
POLE „MAPA REPUBLIKY“  
Z NEMĚŘICKÝCH SNÍMKŮ**

CHANGE DYNAMICS OF THE SNOW FIELD „MAP  
OF REPUBLIC“ BASED ON WEBCAM PHOTOS

*Bakalářská práce*

Vedoucí práce: RNDr. Jakub Lysák  
Praha 2015

## **Prohlášení o samostatném zpracování práce**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 25. května 2014

.....

Michal Kowalski

## Poděkování

Vedoucímu práce, RNDr. Jakubovi Lysákovi, velice děkuji za vynikající podporu, cenné připomínky a věnovaný čas. Velký dík patří panu Lukáši Rongemu, který uvolnil pro potřebu bakalářské práce snímky z webkamerové sítě HumlNET, bez kterých by tato práce nevznikla. Děkuji také správě KRNAP za poslání dat z jednoho referenčního měření. Rád bych také poděkoval své rodině za podporu během práce i studia.

# Dynamika vývoje sněhového pole „Mapa republiky“ z neměřických snímků

## Abstrakt

Cílem bakalářské práce je navrhnout a prakticky ověřit (polo)automatizovaný způsob využití časové řady snímků z webové kamery ke sledování rozlohy sněhového pole „Mapa republiky“ v Krkonoších. Tento problém je implementován v programovacích jazycích C (výpočetně náročné zjištění přesné orientace kamery) a poté především v Pythonu a jeho knihovně ArcPy. Výsledkem práce je skript, jehož vstupem jsou snímky z webkamery, digitální model reliéfu, soubor s nastavením kamery a výstupem je shapefile se sněžnými ploškami a vhodně vizualizovaná mapa úbytku sněhu. Použité metody jsou podrobně popsány včetně matematických základů a jsou podrobeny kritice.

**Klíčová slova:** pozemní fotogrammetrie, webkamera, rotace kamery, Mapa republiky, GIS, ArcPy

# Change dynamics of the snow field „Map of Republic“ based on webcam photos

## Abstract

The aim of this thesis is to design and verify in practice (semi)automated way of using time series of images from a webcam to monitor expanses of snow field "Map of the Republic" in the Giant mountains. This problem is implemented in the programming languages C (computationally intensive detection the exact orientation of the camera) and then mostly in Python and its library ArcPy. The result is a script whose entries are images from a webcam, digital elevation model, set the orientation of the camera and the output is a shapefile with snow surface and appropriately visualized map decrease of snow. The methods are described in detail, including mathematical foundations and are subject to criticism.

**Key words:** terrestrial photogrammetry, webcam, camera rotation, Map of republic, GIS, ArcPy



# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>8</b>
<b>2 Teoretická část</b>	<b>11</b>
2.1 Pozemní fotogrammetrie . . . . .	11
2.1.1 Fotografické komory a fotoaparáty . . . . .	13
2.1.1.1 Měřické a neměřické přístroje . . . . .	13
2.1.1.2 Fotografický přístroj . . . . .	13
2.1.1.3 Objektiv . . . . .	15
2.1.1.4 Snímač . . . . .	16
2.1.1.5 Výstupní formát fotoaparátu . . . . .	18
2.1.2 Rotace kamery . . . . .	20
2.1.2.1 Souřadnicový systém a parametry rotace . .	20
2.1.2.2 Vlíčovací body . . . . .	22
2.1.2.3 Rotační matice . . . . .	23
2.2 Detekce sněhové pokrývky . . . . .	23
2.2.1 Konvenční metody detekce . . . . .	24
2.2.2 Metoda detekce pro RGB snímač . . . . .	24
2.2.2.1 Metoda prahování . . . . .	24
2.2.2.2 Metoda dynamického prahování . . . . .	25
2.2.2.3 Metoda upraveného NDSI . . . . .	25
<b>3 Aplikace</b>	<b>27</b>
3.1 Testovací snímky . . . . .	27
3.2 Určení polohy a rotace kamery . . . . .	28
3.2.1 Distorze . . . . .	28
3.2.2 Určení vlíčovacích bodů . . . . .	29
3.2.3 Výpočet rotace kamery . . . . .	32
3.3 Kontrola viditelnosti sněhového pole . . . . .	34
3.4 Detekce sněhové pokrývky . . . . .	37
3.5 Zpětné promítání na DMR . . . . .	40
<b>4 Diskuze</b>	<b>43</b>
<b>5 Závěr</b>	<b>45</b>
<b>6 Seznam literatury</b>	<b>46</b>
<b>7 Přílohy</b>	<b>49</b>

## Přehled použitých zkratek

3D	Trojrozměrný
ArcPy	Programovací modul jazyku Python
CCD	Charge-coupled device
DMR	Digitální model reliéfu
DPZ	Dálkový průzkum Země
Exif	Exchangeable image file format
GIS	Geografický informační systém
GPS	Global Positioning System
IR	Infrared
JPEG	Joint Photographic Experts Group
KRNAP	Krkonošský národní park
NDSI	Normalized Difference Snow Index
RAW	Raw data - primární data
RGBNDSI	Red Green Blue Normalized Difference Snow Index
TIFF	Tagged Image File Format
TIN	Triangular irregular network (nepravidelná trojúhelníková síť)

## Seznam tabulek

1	Fotoaparát Canon G10 - základní parametry . . . . .	14
2	Použité vřícovací body . . . . .	30

## Seznam obrázků

1	Mapa republiky na ortofotu z roku 2012 . . . . .	8
2	Schneeflecke - dřívější název Mapy republiky . . . . .	9
3	Space resection . . . . .	12
4	Fotoaparát Canon G10 . . . . .	14
5	Distorze objektivů a objektiv bez distorze . . . . .	16
6	Bayerova maska . . . . .	17
7	Graf propustnosti IR filtru Canon (červená křivka) v závislosti na vlnové délce . . . . .	17
8	Efekt moiré . . . . .	18
9	Zpracování snímků ve fotoaparátu . . . . .	19
10	Souřadnicový systém na fotografii . . . . .	20
11	Snímač s centrálním pixelem při lichém počtu pixelů v řádcích a sloupcích . . . . .	21
12	Rotace snímače kolem os . . . . .	21
13	Vlícovací body - problém hrany . . . . .	22
14	Křivky spektrální odrazivosti . . . . .	24
15	Snímek zájmové oblasti z 20. května 2014 . . . . .	27
16	Adobe Lens Profile Downloader 1.0.1 . . . . .	29
17	Použité vlícovací body . . . . .	30
18	Vlícovací body určené na ortofotu . . . . .	31
19	Vlícovací body a Mapa republiky v ArcScene . . . . .	31
20	Komprese JPEG . . . . .	32
21	Nalezení nejmenší průměrné polohové odchylky vlícovacích bodů . . . . .	34
22	Kontrolní body viditelnosti horizontu . . . . .	35
23	Kontrola použitelnosti snímku z jednotlivých dnů s hodnocením . . . . .	36
24	Snímek z 20. května 2014 - porovnání metod detekce sněhu . . . . .	37
25	Snímek z 21. května 2014 - porovnání metod detekce sněhu . . . . .	38
26	Snímek ze 22. května 2014 - porovnání metod detekce sněhu . . . . .	39
27	Detaily metod detekce sněhu Mapy republiky z 20. - 22. května 2014 . . . . .	40
28	Rekonstrukce pixelu na TIN . . . . .	41
29	Mapa Mapy republiky ze dne 27. června 2012 - porovnání metody GPS se snímkovou metodou . . . . .	43
30	Tání Mapy republiky . . . . .	44
31	Workflow programu . . . . .	49

## 1 Úvod

Hlavním tématem této bakalářské práce je navrhnout a aplikovat postup automatizované detekce sněhu za využití metod dálkového průzkumu Země (DPZ). DPZ je založen na poznatku, že pro každý fyzikální objekt a jeho stav je charakteristický způsob, jakým ovlivňuje okolní silová pole. Měřením charakteristik polí lze zpětně zjistit údaje o objektu, aniž bychom se s ním dostali do přímého kontaktu (Kolář, 1990).

Sníh bude detekován z obrazových snímků, které byly pořízeny jedním z lehce dostupných přístrojů výzkumu DPZ - fotoaparátu. Zdrojem dat je internetová síť HumlNET, která provozuje velké množství webkamer především v turisticky oblíbených místech Krkonoš. Mají k dispozici rozsáhlý archiv snímků, které jsou pořizovány každou minutu.

Zkoumaná lokalita, na které bude výzkum aplikován, je výrazné sněhové pole - Mapa republiky, které se nachází na jižním svahu Studniční a Luční hory v nadmořské výšce 1400 - 1500 metrů nad mořem. Jako jediné v Krkonoších má svůj oficiálně uznávaný název, a tak se dostalo i do některých podrobných turistických map. To má také více důvodů: je zdaleka a z mnohých směrů dobře viditelné a zároveň má i dobře zapamatovatelný tvar. Jeho název je odvozen od tvaru prvorepublikového Československa, které v průběhu tání sněhu připomíná. Zbytky sněhu zde běžně leží až do konce jara a začátku léta. Ve výjimečných případech (velká lavinová akumulace na příhodném místě) sníh nemusí roztát vůbec (Dvořák, 2005).

**Obrázek 1:** Mapa republiky na ortofotu z roku 2012

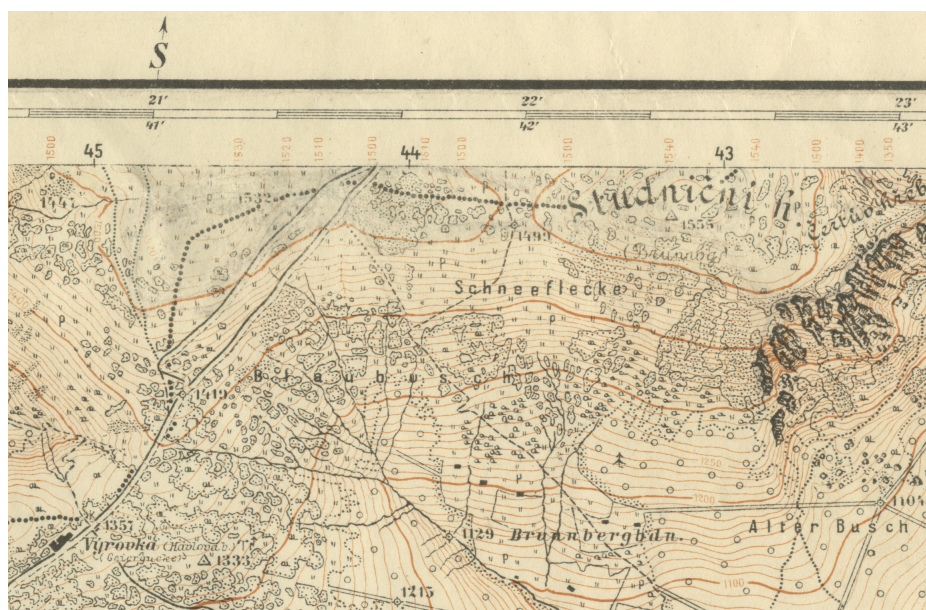


*Zdroj: Mapový server Správy KRNP, vlastní zpracování*

Nahromadění velmi silné sněhové pokrývky je připisováno větrno-horopisným soustavám. Severní a severozápadní větry svírají obrovské množství

sněhu z rozsáhlé oblasti východokrkonoského zarovnaného povrchu a pak ho ukládají na relativně malé ploše závětrného prostoru nad Modrým dolem. Sněhové pole leží v terénní depresi – v jakési protáhlé mělké míse, kterou si za dlouhé desítky tisíc let na svahu hory „vyležel“ sám sníh. V dobách ledových na tomto místě jistě bylo trvalé firnové pole, kde sníh vůbec neroztával a bylo ho ještě větší množství než dnes. Jeho vahou, plazením po povrchu a transportem materiálu tu vzniklo počáteční stadium vývoje karu (ledovcového kotle), drobný karoid, ve kterém dnes Mapa republiky leží (Dvořák, 2005). Původní obyvatelé Krkonoš o sněhovém poli věděli, systematický výzkum sněhu začal v roce 1954 Horskou službou v Krkonoších z důvodu stanovení kritérií sesunů lavin a předvídání tohoto nebezpečného jevu. Oblast sněžného pole zkoumal také Jeník, který zpracoval komplexní přehled dané oblasti, uvádí Vrba (1964).

**Obrázek 2:** *Schneeflecke* - dřívější název *Mapy republiky*



*Zdroj: Mapa Československé republiky 1:20 000 (1937)*

Nynější odborní pracovníci oddělení ochrany přírody Správy KRNAP a Krkonošského muzea se sněhovými poměry v nejvyšších polohách Krkonoš zabývají v souvislosti s výzkumem přírodních poměrů zdejších tundrových společenstev a zákonitosti horské přírody, konkrétně vztahy mezi výškou sněhu, jeho plošným rozložením a složením vegetace. Například v jádru sněhového pole pak roste typická rostlina sněhových výležísek - protěž nízká. Měření polohy, rozlohy a tloušťky sněhu Mapa republiky provádí za pomoci GPS a ocelové sondy. Opakovaná měření během jedné sezony pak umožňují

získat i obrázek vývoje, resp. odtávání Mapy republiky (Dvořák, 2005). Problematickým faktorem, na který výzkumníci KRNAP naráží, je relativně nízká četnost měření. Rychlost tání sněhu závisí především na jeho tloušťce, teplotě vzduchu a srážkách. Během jarních slunečních dní může dojít k velmi rychlému odtání značné části sněhu řádově v několika dnech. Distanční automatizované měření umožňuje detekovat sněh v téměř libovolné četnosti měření, minimalizovat náklady na dopravu a lidské zdroje a při použití kvalitní kamery zkoumající jen Mapu republiky by byla možnost dosáhnout srovnatelnou přesnost s GPS. Cílem bakalářské práce je navrhnout postup, který dávkově vymezí sněhovou pokrývku v zájmové oblasti z webkamerových snímků. Snímky jsou ve vysokém rozlišení 14 MPix a zabírají celé údolí Pece pod Sněžkou a nejsou primárně určeny k provádění měřičských úloh. Dalším cílem je nalezení vhodné vizualizace výsledků tání sněhu. Všechny použité tradiční i experimentální metody budou v práci podrobně kriticky zhodnoceny, včetně jejich úskalí a neřešených problémů.

Bakalářská práce je rozvržena do několika částí. První část práce se zabývá teorií pozemní fotogrammetrie, kamerou, korekcí objektivu, polohou a prostorovým natočením. Zmíněna bude také detekce sněhové pokrývky, která se používá v běžném výzkumu DPZ, ale také detekce využívající pouze obrazová data z webkamery. Aplikační část práce pro Mapu republiky charakterizují výpočty vlíčovacích bodů, nalezení úhlů rotace kamery, vliv meteorologických podmínek ovlivňujících kvalitu snímku, diskuzi ohledně změny rozlohy sněhu vlivem různého typu prahování, navržení vhodné unifikace, vizualizace dat a také porovnání naměřených dat s výsledky KRNAP.

## 2 Teoretická část

### 2.1 Pozemní fotogrammetrie

Fotogrammetrie patří mezi vědní obory, které se zabývají získáváním informací o předmětech na základě exaktního měření. Pro získání obrazu lze užít rozličných zařízení s různou výstupní přesností - od běžných amatérských fotoaparátů až po speciální měřičské komory. Pořízený obraz, nebo-li snímek, slouží k zachycení okolní reality. Z polohy bodů na měřičských snímcích lze odvodit tvar, velikost a umístění předmětu měření v prostoru, určit vzájemnou prostorovou polohu jednotlivých bodů, vyhodnotit polohopis a výškopis. Přesnost měření v prostorové složce ubývá se čtvercem vzdálenosti (Pavelka, 2003).

Základní dělení fotogrammetrie podle polohy (stanoviska) měřičského senzoru je pozemní (terestrická, blízká) fotogrammetrie, letecká fotogrammetrie a družicová fotogrammetrie (Pavelka, 2003). Každá technologie má jiné nároky na kvalitu fotoaparátu, snímku a určení polohy.

V družicové fotogrammetrii je téměř nutností použít hi-tech zařízení s velmi vysokou spolehlivostí, jelikož se finančně nevyplatí servisní let k družici i třeba jen pro výměnu senzoru za nový model. Je také potřebné mít kvalitní spojení se Zemí, protože se vzrůstající kvalitou snímků rostou také nároky na datový tok.

Letecká fotogrammetrie oproti družicové fotogrammetrii neklade tak vysoké nároky na kvalitu a životnost přístroje. Nevýhodou je, že nelze zpravidla dostatečně přesně určit prostorovou polohu snímku v okamžiku jeho pořízení. Vzhledem k tomu, že se pořizují především přibližně kolmé snímky, je vzdálenost od místa fotografování k objektům (vzhledem k výšce letu) přibližně stejná a tudíž je přibližně stejná i přesnost vyhodnocení. Využívají se zde také přístroje GPS, uvádí Pavelka (2003).

Při metodě pozemní fotogrammetrie (*angl. Close Range Photogrammetry*) je stanovisko zpravidla nepohyblivé, umístěné na Zemi. Kromě možnosti zjištění přesné polohy souřadnice stanoviska má pozemní fotogrammetrie (oproti např. letecké fotogrammetrii) výhodu v cenově přístupných přístrojích. Nedostatkem této metody je však relativně krátký dosah, vyšší pravděpodobnost vzájemně se překrývajících objekty (bližší objekt, např. strom, může zaclonit terén, který se nachází za ním a tím ovlivní měření dané lokality) (Pavelka 2003).

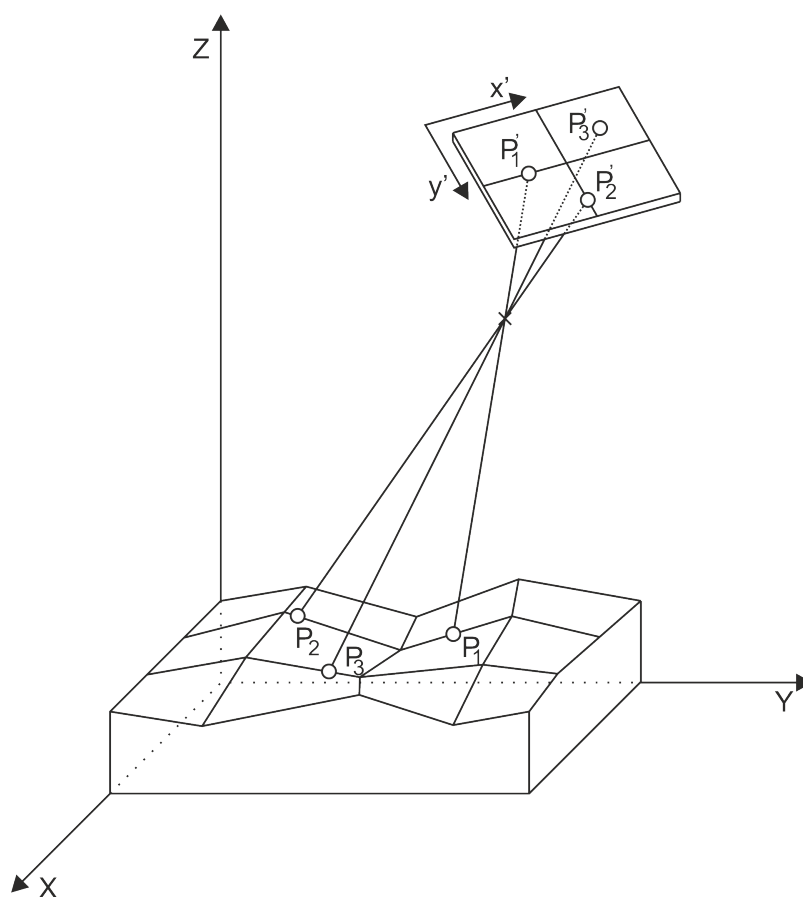
Standardní metody využívají známou polohu kamery - souřadnice  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  a natočení kamery v úhlech  $\omega$ ,  $\varphi$  a  $\kappa$ , což jsou prvky vnější orientace (Terminologický slovník VÚGTK). V bakalářské práci je řešen opačný problém, kdy nejsou známy prvky vnější orientace kamery. Zpravidla všechny postupy vycházejí z přesně známé polohy fotografického přístroje, včetně jeho natočení. Pozice fotoaparátu  $X$  a  $Y$ , ze které jsou pořízeny snímky, je známa s dostatečnou přesností. Souřadnici  $Z$  nelze s dostatečnou přesností určit



z DMR a rotace kamery kolem os o úhly  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$  je oproti standardnímu měřičskému snímku neznámá. Řešení se nabízí ve formě zpětného protínání (*space resection*). Je známa pozice fotoaparátu  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  a je potřeba určit pixelovou a prostorovou polohu nejméně 3 bodů, které neleží přímo v jedné linii od fotoaparátu (Luhmann, 2006).

Situace ohledně webkamery HumlNET je komplikovanější. Kromě rotace kamery je také nutno určit již zmíněnou polohu fotoaparátu v ose  $Z$ , ale také ohniskovou vzdálenost  $f$ . Ze základů matematiky je známo, že pokud má soustava rovnic  $n$  neznámých proměnných, pro nalezení řešení musí obsahovat soustava nejméně  $n$  rovnic. Pro přesné určení polohy kamery a jejího natočení tedy musí být známo minimálně 5 vlíčovacích bodů - tzn. bodů které mají známou pixelovou pozici na snímku a 3D polohu v prostoru a budou dosazovány do soustavy.

Obrázek 3: *Space resection*



Zdroj: Luhmann (2006), vlastní zpracování

Neznámé jsou prvky vnější orientace (poloha a natočení kamery) a známé jsou zpravidla prvky vnitřní orientace (parametry popisující průchod paprsků komorou) (Pavelka 2000).

### 2.1.1 Fotografické komory a fotoaparáty

#### 2.1.1.1 Měřické a neměřické přístroje

Pro fotogrammetrické využití je nutno snímky pořídit fotogrammetrickými komorami a zajistit dodatečné informace nutné pro vyhodnocení, mezi které patří geodetické zaměření vlčovacíh bodů, zaměření základny apod. Obecně lze říci, že při současných technologických postupech a při dostatečném počtu vlčovacíh bodů lze vyhodnotit jakékoliv snímky z libovolné komory a dokonce i z komor neměřických (samozřejmě na úkor přesnosti). Pro standardní postup je ale nutno užít komor speciálně určených pro měřické účely, tj. komory, u kterých známe prvky vnitřní orientace – neboli parametry, popisující průchod paprsků komorou. Obecně jsou udávány tři parametry (konstanta komory,  $x$  a  $y$  poloha hlavního snímkového bodu), dále ale musíme znát rámové značky pro definování středu snímkových souřadnic (odečítání pixelových souřadnic) a též průběh radiální distorze objektivu, bez jejíž odstranění by snímek nebyl fotogrammetricky použitelný. Fotogrammetrické komory se podle Pavelky (2000) dělí na:

- komory fotografické
- komory digitální
- komory letecké, kosmické a pozemní
- réseau komory
- speciální komory

Pro potřeby fotogrammetrie je v současné době možno poměrně dostupnými metodami upravit snímky běžných fotoaparátů, aby vykazovaly dostatečnou přesnost pro fotogrammetrické měření.

#### 2.1.1.2 Fotografický přístroj

Zájmová oblast je v zorném poli webkamery patřící společnosti HumlNET, která kromě internetové sítě provozuje také síť webkamer. Za účelem této práce byly autorovi poskytnuty snímky ve vysokém rozlišení. Archiv webkamerové sítě HumlNET obsahuje fotografie od 23. března 2008. V současné době jsou snímky fotografovány upraveným fotoaparátem Canon G10, jenž byl nainstalován 21. února 2012. Výrobce předchozí kamery, ani její vlastnosti bohužel nejsou z Exif známy a ani provozovatel sítě není schopen uvést zpětně její typ. Znalost přesného typu fotoaparátu je potřeba pro odstranění optických vad, které zabraňují použití nezpracovaného snímku k přesnému

měření. Práce bude využívat pouze snímky získané s fotoaparátem Canon G10. Tento kvalitní kompaktní fotoaparát byl uveden na trh v září 2008 (Digimanie, 2015).

**Obrázek 4:** Fotoaparát Canon G10



*Zdroj: Stránky výrobce fotoaparátů Canon*

**Tabulka 1:** Fotoaparát Canon G10 - základní parametry

Obrazový snímač	
Typ	1/1.7" CCD
Efektivní pixely	Přibližně 14.7 M
Objektiv	
Ohnisková vzdálenost	6.1-30.5 mm (ekvivalent k 35 mm: 28–140 mm)
Světelnost	f/2.8–f/4.5
Řízení expozice	
Citlivost ISO	80, 100, 200, 400, 800, 1600
Závěrka	
Rychlost	15 - 1/4000 s
Ukládání pixelů / komprese	
Velikost snímku	(L) 4 416 x 3 312
Komprese	Velmi jemné, Jemné, Normální

*Zdroj: Stránky výrobce fotoaparátů Canon*

Tento fotoaparát s rozlišením 4416x3312 pixelů poskytuje opravdu velmi vysoké rozlišení, jaké by nebylo možno běžnou webkamerou dosáhnout. Standardní webkamery mají běžně rozlišení 640x480 pixelů, 1024x768 pixelů a moderní webkamery FullHD (1920 x 1080 pixelů), které má stále více než 7x menší rozlišení, než jaké poskytuje fotoaparát Canon G10. Rozlišení snímače jsou spolu s ohniskovou vzdáleností (přiblížením) základními faktory ovlivňující rozlišovací schopnost fotoaparátu a tím i velikost sněžné plošky, která bude na terénu detekována.

### 2.1.1.3 Objektiv

Při fotografickém zobrazení se středové promítání na senzor uskutečňuje opticky. Optické promítání by se shodovalo s geometrickým středovým promítáním jen při použití "dírkového objektivu". Skutečný objektiv se skládá z řady optických členů a jeho tloušťka rozhodně není zanedbatelná. Každý objektiv má definovanou optickou osu procházející středem objektivu, na které mají ležet středy křivosti jednotlivých čoček. Kvalita měřického objektivu ovlivňuje do velké míry přesnost určení snímkových souřadnic. Použitím jakéhokoliv objektivu dochází k porušení ideálního středového promítání. Odchyłky skutečného zobrazení od ideálního se nazývají optické vady nebo aberace, Pavelka (2003).

Uvádí také, že optické vady můžeme rozlišit na:

- jednobarevné (monochromatické)
- barevné

Dále vady vznikají při:

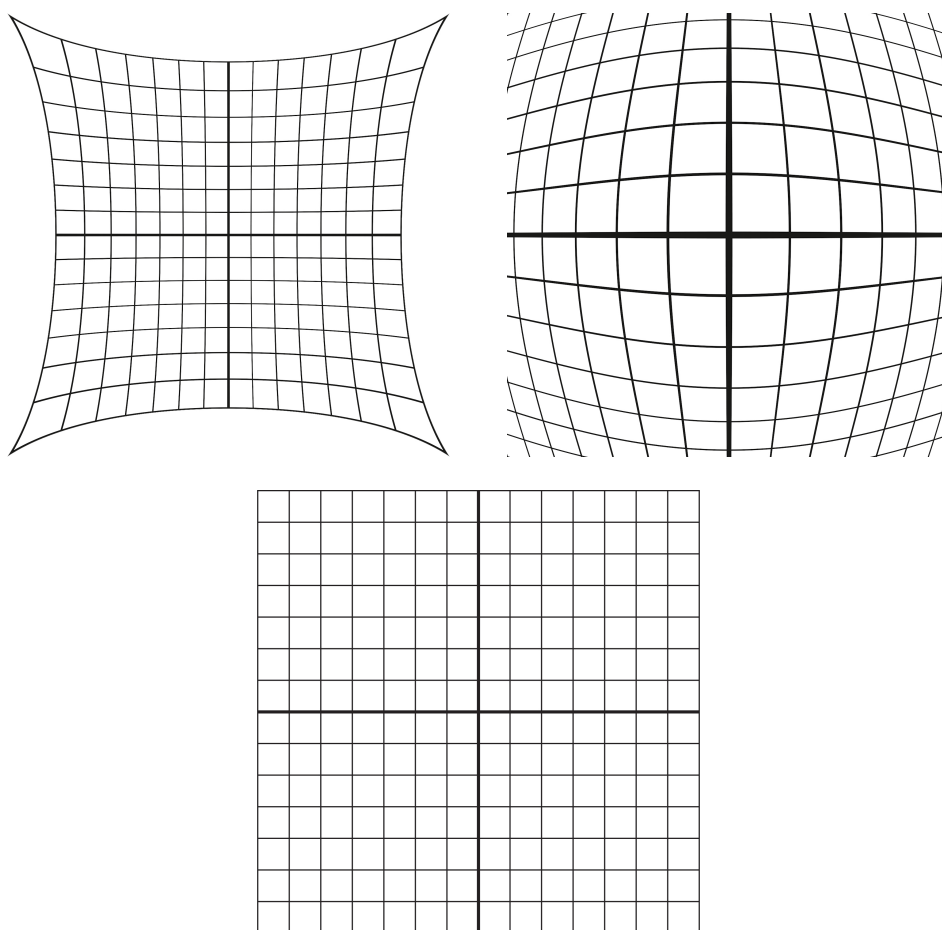
- zobrazování bodu (sférická vada, astigmatismus a koma)
- zobrazování předmětu (zklenutí pole a zkreslení obrazu)

Nejpodstatnější optickou vadou objektivu, bez jejíž odstranění nelze snímky využít k fotogrammetrii, je distorze objektivu. Distorze je souhrn zbytkových vad objektivu projevující se posunem obrazu bodu od jeho správné polohy v rovině snímku (Terminologický slovník VÚGTK). Současné objektivy jsou nesymetrické, skládají se z 8-30 prvků, které nelze urovnat naprosto přesně do ideální optické osy. Z tohoto důvodu není úhel vstupujícího paprsku naprosto stejný jako u vystupujícího paprsku a poloha zobrazovaného bodu se mírně liší od správné polohy. Pro přesné práce a u objektivů s velkými hodnotami distorze je třeba nutno tyto vady odstranit (Pavelka, 2003).

Odstranit vliv distorze na již vzniklém snímku lze několika způsoby. Protože je každý objektiv defacto unikátní, přesná kalibrace se v nelaboratorních podmínkách provádí pomocí kalibračního pole. Kalibrační pole je nejčastěji tvořeno obdélníkovou či čtvercovou sítí s množinou vyplněných kruhových bodů, které jsou kontrastní vůči podkladové barvě pole. Ideální kombinace

barev je černá a bílá. Množina bodů neboli značek, může být uspořádána podélně či diagonálně, je však důležité, aby několik z nich bylo specificky odlišitelných vůči ostatním. Tyto specifické body, tzv. vlíčovací, jsou snadno poznatelné pomocí jejich okolních přidružených značek, uvádí ve své práci Vála (2011).

**Obrázek 5:** *Distorze objektivů a objektiv bez distorze*



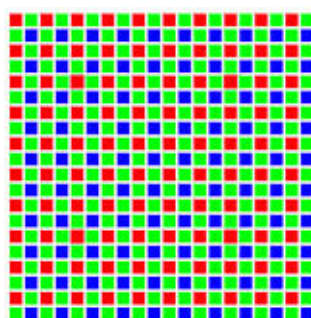
*Zdroj: Vlastní tvorba za použití programu Adobe Photoshop Lightroom*

#### 2.1.1.4 Snímač

Digitální senzor většiny barevných kamer (s výjimkou 3 CCD systémů využívajících optický hranol, apod.) je založen na tzv. Bayerově masce. Je to pole barevných filtrů, které se nachází před senzorem a propouští na senzor červenou, bílou, nebo zelenou barvu (Atkins, 2008). Na Bayerově masce je zastoupeno více zelené barvy, na něž je lidské oko nejvíce citlivé. Sa-

motný senzor poté měří jas filtrovaného světla a ten poté zaznamená. Standardní fotografické snímáče jsou 8, 10, nebo 12bitové. 8bitový snímáč je schopen rozlišit  $2^8 = 1024$  hodnot jasu a 12bitový snímáč je schopen rozlišit  $2^{12} = 4096$  hodnot jasu. Pokud budou brány v potaz všechna 3 pásma fotoaparátu (R, G, B), tak 8bitový senzor dokáže rozlišit  $(2^8)^3 = 16777216$  barev a 12bitový senzor rozliší  $(2^{12})^3 = 68719476736$  barevných kombinací (Atkins, 2008).

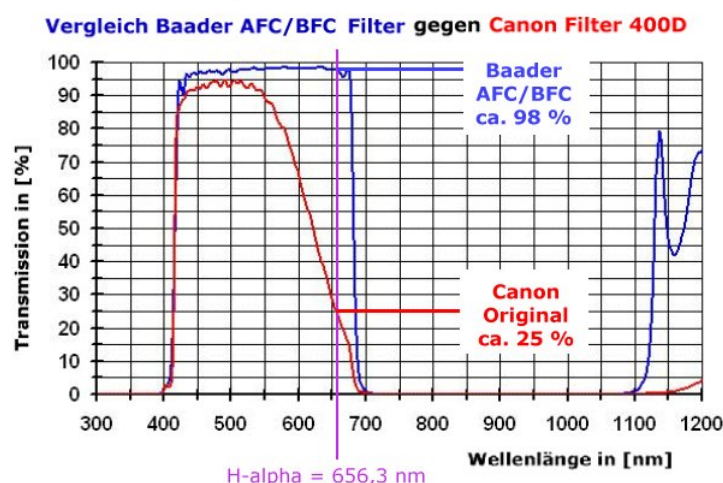
**Obrázek 6:** Bayerova maska



*Zdroj: Atkins (2008)*

Ve fotoaparátu je také před snímačem umístěno několik dalších filtrů. Kromě Bayerovy masky se zde nachází filtr infračerveného záření, na které jsou senzory fotoaparátů velmi náchylné. Senzory fotoaparátů jsou citlivé až na světlo o vlnové délce 950 nm (DPanswers.com).

**Obrázek 7:** Graf propustnosti IR filtru Canon (červená křivka) v závislosti na vlnové délce

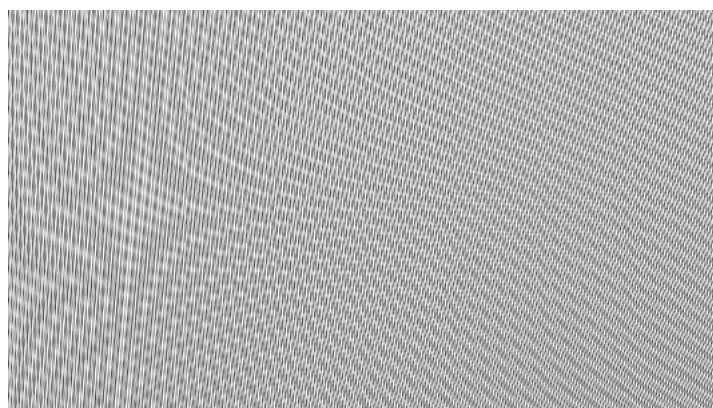


*Zdroj: Baader Planetarium*

Na přiloženém grafu lze vidět rostoucí účinnost originálního filtru Canon od cca 500 nm do 680 nm. Filtr Canon má za cíl upravovat světlo dopadající na snímač, aby snímek co nejvíce odpovídal realitě, kterou může člověk vidět okem. Z grafu lze také usoudit, že na spektrální čáře H-alpha je snímač téměř 4x citlivější, než lidské oko.

Dále je zde zastoupen low-pass filtr, který je určen pro odstranění (zpravidla) nežádoucích jevů, jež mohou nastat při snímání digitálním senzorem. Eliminuje, nebo významně potlačí artefakty a moiré, ale také významně sníží reálné rozlišení fotoaparátu. Moiré je jev, který se objeví při vyfocení objektu s pravidelnou jemnou texturou a dojde ke konfliktu pravidelné struktury snímače a objektu. Při adekvátním rozostření low-pass filtrem dojde ke zmenšení optického rozlišení, paprsky dopadající na senzor se mírně rozostří a dále již nedochází k optické kolizi.

**Obrázek 8:** *Efekt moiré*



*Zdroj: Janzen (2012)*

Low pass filtr není zpravidla osazen ve středofórmátových fotoaparátech, pokročilých modifikacích profesionálních fotoaparátů (Canon 5DS R a Nikon D800E) a také ve fotogrammetrických komorách. Efekt moiré se poté následně upravuje postprocessingem, kterým se běžní uživatelé fotoaparátu nechtějí zabývat, a proto bývá drtivá většina fotoaparátů vybavena low-pass filtrem (Stensvold, 2014).

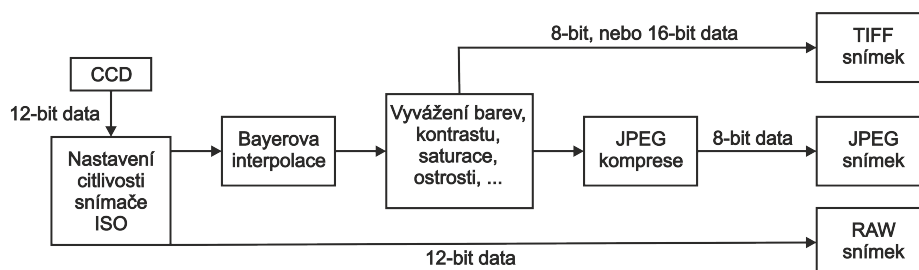
Je nutné připomenout, že jakýkoliv filtr degraduje kvalitu snímáných objektů, klesá rozlišovací schopnost fotoaparátu a tím klesá také i přesnost detekce sněhové pokrývky. V určitých případech jsou však některé filtry pro dané použití nezbytné.

#### **2.1.1.5 Výstupní formát fotoaparátu**

Snímek vyfocený fotoaparátem se ukládá do obrazového souboru, který je možno rozdělit do dvou základních typů - zpracovaného a nezpracovaného

(RAW) snímku.

**Obrázek 9:** *Zpracování snímků ve fotoaparátu*



*Zdroj: Atkins (2008), vlastní zpracování*

Nezpracovaný snímek se ukládá do formátu RAW, který pouze uloží data získaná ze snímáče na paměťovou kartu.

Snímek formátu JPEG prochází zpracováním přímo ve fotoaparátu. Procesor nejdříve bayerovou interpolací interpoluje informace získané z jednotlivých pixelů a ty se následně zrekonstruují ve výsledný RGB obraz. Poté dojde k vyvážení bílé barvy a dalším úpravám, které si uživatel může na běžném fotoaparátu nastavit - saturaci, kontrast, automatické vyvážení jasu, ostrosti, barevné filtry, ... A následuje komprese dat do formátu JPEG a jeho následné uložení. Při této kompresi se ztrátově zmenší datová velikost snímku a dojde k rozostření přechodů.

Některé fotoaparáty mají i možnost ukládat zpracované snímky do nekomprimovaného formátu TIFF, který může uložit 8, nebo 16bitová data (Atkins, 2008).

Běžní uživatelé fotoaparátu fotografují s formátem JPEG, který je jedním z nejrozšířenějších obrazových formátů na světě a tento formát fotografie je schopno v dnešní době zobrazit téměř jakékoliv multimediální zobrazovací zařízení. RAW snímky mají význam pro pokročilé a profesionální použití, jelikož snímek se zrekonstruuje z RAW souboru v počítači a uživatel může celý proces zpracování fotografie kontrolovat a daný snímek může být podstatně lépe zpracován, než automaticky ve fotoaparátu. Při procesu ukládání RAW souborů nedochází ke ztrátové kompresi a tento formát snímku umožňuje přenést z fotoaparátu nejvíce dat.

Snímky z webkamery HumlNET jsou pouze ve formátu JPEG, jelikož se jedná o snímky primárně určené k prohlížení a ne k dalším analýzám. Bylo by také velmi náročné zrekonstruovat snímek z RAW souborů v reálném čase a nejsou zde vysoké nároky na kvalitu fotografie.



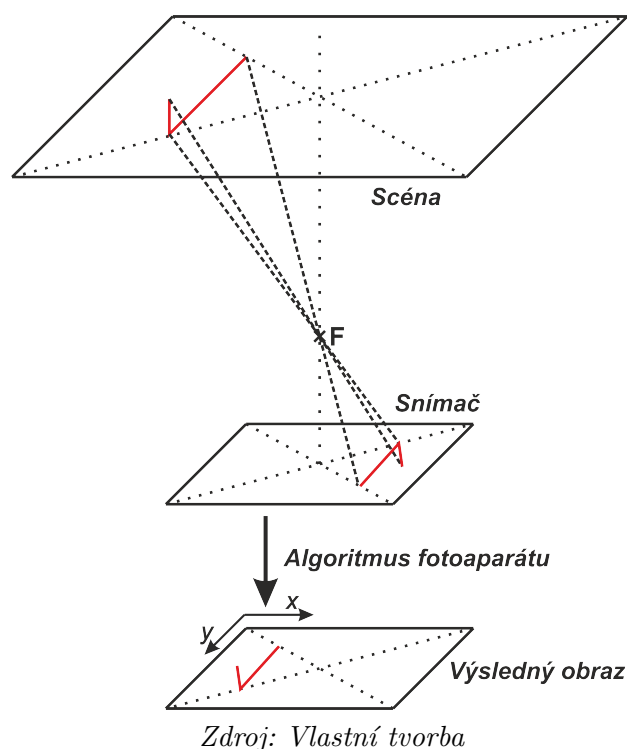
## 2.1.2 Rotace kamery

### 2.1.2.1 Souřadnicový systém a parametry rotace

Reálný svět je tvořen 3 základními parametry - délkou, šířkou a výškou. Pro potřeby výpočtů je však nutno definovat souřadnicový systém prostoru. Práce je řešena v 3D souřadnicovém systému, jehož  $X$  a  $Y$  souřadnice je definována v systému ETRS89-TM 33 a  $Z$  složka v GSR80. Výhoda tohoto souřadnicového systému je ta, že je pravoúhlý a tudíž výpočty mohou být řešeny za použití základní eukleidovské stereometrie.

Druhá souřadnicová soustava je definována na snímáči fotoaparátu, respektive na snímku. Osy jsou orientovány z důvodu zjednodušení situace stejně, jako v běžných grafických programech. Osa  $x+$  směřuje doprava a osa  $y+$  směřuje dolů.

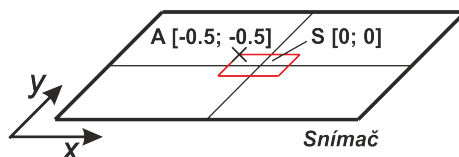
Obrázek 10: Souřadnicový systém na fotografii



Poslední souřadnicový systém, který bude využit, je středový snímkový. Algoritmus automaticky převede předchozí snímkový souřadnicový systém do středového souřadnicového systému, kdy je střed fotografie v bodě  $[0; 0]$ ,  $x+$  osa směřuje vpravo a  $y+$  směřuje nahoru. Středový bod, který protíná optická osa, je velmi dobře použitelný při trigonometrických výpočtech mezi

ohniskem a bodem, který je promítnut na snímáči. Je nutno také brát v potaz sudý a lichý počet pixelů, které se mohou objevit na snímačích s různým rozlišením.

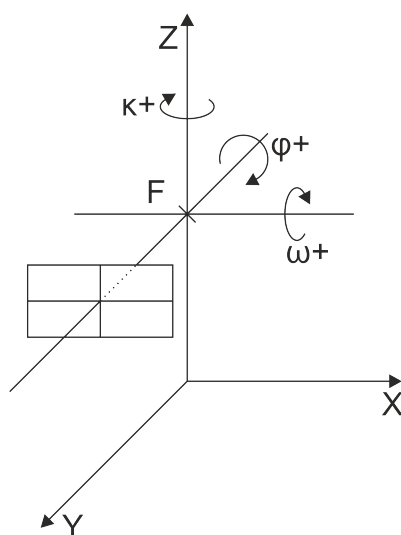
**Obrázek 11:** Snímáček s centrálním pixelem při lichém počtu pixelů v řádcích a sloupcích



Zdroj: Vlastní tvorba

V bakalářské práci bude také řešena rotace kamery - tzn. natočení snímáče o určitý prostorový úhel, jehož středem je ohnisko  $F$ . Není bohužel možno zjistit polohu nodálního bodu objektivu, který je středem otáčení optické soustavy a v kombinaci s vhodnou panoramatickou hlavou by nedocházelo při pohybu kamery k poodkrývání objektů, jež jsou skryty za bližšími objekty. (Littlefield, 2006) Vzhledem k relativně velkým vzdálenostem terénu od fotoaparátu a malé vzdálenosti středu otáčení a ohniska, budeme ve výpočtech považovat ohnisko  $F$  za neměnný střed otáčení optické soustavy. Osy rotací kamery jsou  $\omega$ ,  $\varphi$  a  $\kappa$ , které představují rotaci snímáče kolem os  $X$ ,  $Y$  a  $Z$ .

**Obrázek 12:** Rotace snímáče kolem os



Zdroj: Pavelka (2003), vlastní zpracování

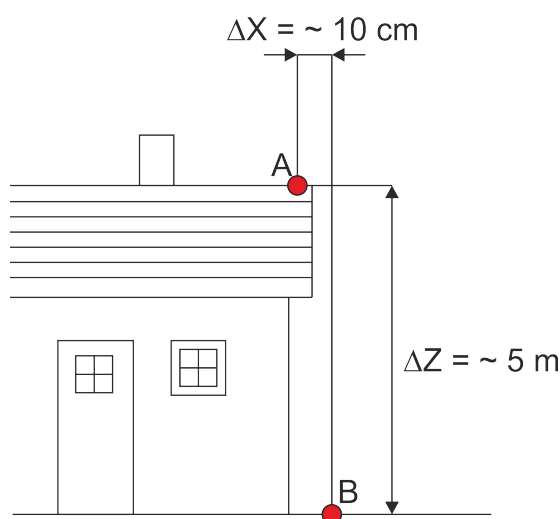
### 2.1.2.2 Vlčovací body

Vlčovací bod je bod stanovené přesnosti, vhodně umístěný v terénu, případně fotogrammetricky signalizovaný a na měřickém snímku identifikovatelný; skupina vlčovacích bodů slouží k určení měřítka výsledného fotogrammetrického vyhodnocení nebo k překreslení měřických snímků a zpravidla i k určení polohy a výšky předmětů měření v daném souřadnicovém a výškovém systému (Slovník VÚGTK).

Stanovení vlčovacích bodů lze provést manuálně určením bodu, který se nachází na snímku a zároveň je jeho přesná poloha známa z ortofota a DMR. Jsou zde ale velké nároky na přesnost určení vlčovacích bodů. Pokud se vlčovací bod nachází na hraně reliéfu, může dojít k chybnému určení nadmořské výšky. Polohová přesnost ortofota není na geodetické úrovni a v porovnání s poměrně přesným DMR (z dat leteckého laserového scanování) zde může docházet k odchylkám řádově v desítkách centimetrů. Souřadnice X a Y vlčovacího bodu je tedy možno určit s dostatečnou přesností, ale pro určení přesné Z souřadnice je doporučeno přezkoumat určenou nadmořskou výšku bodu z TIN. Na nákrese je vidět situace, kdy při drobné odchylce v ose X může dojít k podstatné změně souřadnice Z.

Určení polohy vlčovacích bodů záleží na lokalitě a na požadované přesnosti rotace snímku. Pokud bude výzkum probíhat v různých částech snímku, je doporučeno detekovat vlčovací body po celém snímku. V případě, že zájmová lokalita se nachází na malém území, pro větší přesnost je vhodné detekovat vlčovací body právě v tomto území.

**Obrázek 13:** Vlčovací body - problém hrany



*Zdroj: Vlastní tvorba*

### 2.1.2.3 Rotační matice

Rotační matice umožňuje určit souřadnice známého bodu, který je rotován kolem středu rotace o určitý úhel.

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix}$$

$$r_{11} = \cos(\varphi) * \cos(\kappa)$$

$$r_{12} = -\cos(\varphi) * \sin(\kappa)$$

$$r_{13} = \sin(\varphi)$$

$$r_{21} = \sin(\omega) * \sin(\varphi) * \cos(\kappa) + \cos(\omega) * \sin(\kappa)$$

$$r_{22} = -\sin(\omega) * \sin(\varphi) * \sin(\kappa) + \cos(\omega) * \cos(\kappa)$$

$$r_{23} = -\sin(\omega) * \cos(\varphi)$$

$$r_{31} = -\cos(\omega) * \sin(\varphi) * \cos(\kappa) + \sin(\omega) * \sin(\kappa)$$

$$r_{32} = \cos(\omega) * \sin(\varphi) * \sin(\kappa) + \sin(\omega) * \cos(\kappa)$$

$$r_{33} = \cos(\omega) * \cos(\varphi)$$

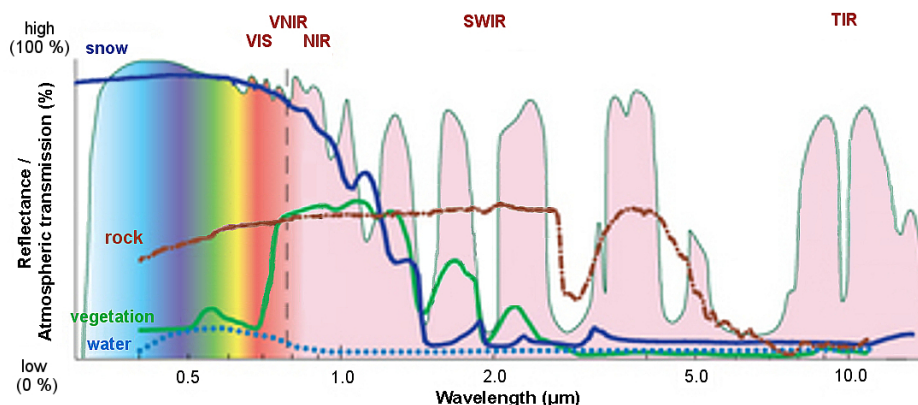
$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = R * \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix}$$

Rotaci bodu o souřadnici  $[x; y; z]$  provedeme za pomoci rotační matice  $R$  kolem středu otáčení  $F[X_0; Y_0; Z_0]$  a vznikne rotovaný bod  $[X; Y; Z]$  (Pavelka 2003).

## 2.2 Detekce sněhové pokrývky

Patří mezi základní úlohy, které měří meteorologové za pomoci specializovaných družic. Ze spektrální křivky (tj. křivky vyjadřující odrazivost povrchu v závislosti na vlnové délce) je patrné, že je nejvýhodnější sníh detekovat v modré barvě, kdy je poměr odrazivosti sněhu ku odrazivosti skal a vegetace nejvyšší.

Obrázek 14: Křivky spektrální odrazivosti



Zdroj: EUMeTrain (2015)

### 2.2.1 Konvenční metody detekce

Existuje mnoho konvenčních metod detekce sněhové pokrývky. Nejčastěji využívají viditelné spektrum a infračervenou oblast, která slouží k detekci teploty povrchu Země (Romanov, 2000). Všeobecně uznávaným indexem, který slouží k detekci sněhové pokrývky, je NDSI. Následující vzorce popisují výpočet NDSI (Normalized Difference Snow Index = Normalizovaný rozdílový index sněhu) pomocí pásem satelitů Landsat:

$$NDSI = (TMBand2 - TMBand5) / (TMBand2 + TMBand5)$$

*Band2*: Zelené pásmo, 530 – 610 nm

*Band5*: Blízké infračervené pásmo, 1550 – 1750 nm

Hodnoty NDSI nižší než 0.4 indikují sněhovou pokrývku (Newton, 2013).

### 2.2.2 Metoda detekce pro RGB snímač

Běžné fotoaparáty využívají RGB snímač, před který je zpravidla umístěn IR filtr a tudíž IR pásmo je nedostupné. Musí se proto pouze využít RGB pásem. Autor musí upozornit, že se nejedná o novou problematiku. Táním sněhové pokrývky za využití standardního fotoaparátu se zabývalo již více výzkumníků. Salvatori (2011) využila fotoaparát Canon Powershot SX110 k detekci tání sněhu na Apeninském pohoří a Hinkler (2002) použil fotoaparát Kodak DC50 s rozlišením 756 x 504 pixelů ke snímání sněhové pokrývky v Grónsku.

#### 2.2.2.1 Metoda prahování

Nejjednodušší metodou detekce sněhu je tzv. prahování. Využívá znalost, že sníh má v pásmech R, G a B vysokou odrazivost v porovnání s ne-

zasněženými částmi terénu. Poté je nastaven limit, od jaké hodnoty jasu bude daný pixel považován za sníh. Do výpočtu může vstoupit aritmetický průměr vrstev RGB, nebo může být práh nastaven pro každé pásmo zvlášť. Lze také detekovat sníh za použití jednoho pásma. Ze spektrální křivky je patrné, že je nejvýhodnější detekovat sníh v modrém pásmu.

Tato metoda je jednoduchá a za příznivých podmínek efektivní. Pokud však dojde k zastínění sněhu, dochází ke ztmavení sněhové pokrývky, která je však vlivem prahování špatně detekována a rozloha sněhového pole je menší, než by měla za lepších světelných podmínek.

### 2.2.2.2 Metoda dynamického prahování

Pracuje na podobném principu, jako předchozí metoda prahování, ale přizpůsobí mez detekce sněhu expozici daného snímku. Pro správné dynamické prahování je nutné manuálně určit pixelové souřadnice středu Mapy republiky a poté program automaticky zjistí hodnotu jasu centrální části Mapy republiky (zjistí aktuální jas na sněhovém poli) a stanoví prahovou hodnotu, která je o 25 hodnot jasu tmavší, než je zkoumaný pixel. Proces je limitován hraniční hodnotou jasu 190, protože pokud by byl sníh v centru Mapy republiky roztátý, mohly by být za sníh považovány kameny a došlo by k chybné detekci sněhu, který se na snímku už nikde nevyskytuje.

### 2.2.2.3 Metoda upraveného NDSI

Práce Hinklera (2012) uvádí metodu RGBNDSI, který je však založen na stejných principech jako NDSI. Ve výpočtu RGBNDSI je místo pásma 5 použito náhradní pásmo  $MIR_{Replacement}$  a pásmo 2 nahrazuje aritmetický průměr pásem R, G a B.

$$RGBNDSI = \frac{(R+G+B)/3 - MIR_{Replacement}}{(R+G+B)/3 + MIR_{Replacement}}$$

$MIR_{Replacement}$  umožňuje vyrovnat expozici snímku. Při výskytu oblačnosti nad snímanou oblastí může dojít k ztmavení sněhové pokrývky. Hinkler použil funkci střední hodnoty  $\tau$ , která nepřímo určuje, zda jsou RGB hodnoty na poměrně vysoké (nebo nízké) úrovni. Pokud se však část snímku ztmaví vlivem částečné oblačnosti,  $\tau$  je vyjádřeno průměrem z ortofota, který byl empiricky určen, jako:

$$RGB_{High} = \frac{G * B^3}{R^3}$$

V normální situaci se  $\frac{B^3}{R^3}$  blíží hodnotě 1 pro pixely se sněhem, avšak pokud dojde ke ztmavení vlivem oblaků, modrá složka převáží nad červenou složkou a proto je potřeba tento jev eliminovat zmíněnou rovnicí. Funkce  $\tau$  byla na základě měření definována:

$$\tau = 200 * (a(RGB_{High})_{Mean} + b)$$

kde  $a$  a  $b$  byly pro fotoaparát Hinklera určeny konstanty -0.0125 a 1.2875, které mohou být pro jiný fotoaparát mírně odlišné. Nutno připomenout, že použitý fotoaparát Kodak DC50 byl určen pro vědecké použití, fotografie snímá v rozlišení 756 x 504 pixelů a je to model z počátku roku 1996 (Kodak Digital Science DC50 zoom camera, 1996). Za použití zmíněných vztahů je  $MIR_{Replacement}$  definován jako:

$$MIR_{Replacement} = \tau^4 * \frac{RGB_{Max}}{((R+G+B)/3)^4}$$

$RGB_{Max}$  je maximální hodnota  $(R + G + B)/3$  vyskytující se na snímku (Hinkler, 2012).

### 3 Aplikace

Automatizovaná detekce sněhové pokrývky bude aplikována na již zmíněném sněhovém poli Mapa republiky. Základní testovací sada 9 snímků je z 20. května 2014 až z 28. května 2014. Je to řada snímků, na které je vidět úbytek sněhové pokrývky Mapy republiky a zároveň jsou v této řadě i snímky, které částečně reprezentují typické situace ve vztahu ke krkonošskému počasí.

**Obrázek 15:** *Snímek zájmové oblasti z 20. května 2014*



*Zdroj: Webkamera HumlNET*

#### 3.1 Testovací snímky

Snímky mají plné rozlišení 4416 x 3312 pixelů a časová řada obsahuje základní meteorologické situace, s nimiž se lze v dané oblasti setkat:

- Snímek `pecpodsnezkou_20140520.jpg` - slunečný den
- Snímek `pecpodsnezkou_20140526.jpg` - oblačnost nad zájmovou oblastí
- Snímek `pecpodsnezkou_20140521.jpg` - částečná oblačnost nad zájmovou oblastí
- Snímek `pecpodsnezkou_20140524.jpg` - oblačnost vyskytující se mezi kamerou a zájmovou oblastí



- Snímek pecpodsnezkou\_20140522.jpg - přeexponován
- Snímek pecpodsnezkou\_20140523.jpg - podexponován

### 3.2 Určení polohy a rotace kamery

Fotoaparát je umístěn na tyči vedoucí z komínu Boudy na Muldě, která se nachází v Peci pod Sněžkou. Souřadnice kamery jsou v souřadnicovém systému ETRS89 / ETRS-TM33 a výškovém systému GSR 80.

Poloha byla určena pro prvotní výpočty z ortofota, po terénním průzkumu oblasti byla upřesněna její X a Y poloha. Zjištěné souřadnice kamery jsou:  $[X_0 = 551504.4 \text{ m}; Y_0 = 5614103.8 \text{ m}]$ . Souřadnici Z nelze z DMR přesně určit, proto je v následujícím výpočtu rotace kamery dopočítávána v rámci minimalizace odchylky a pohybuje se kolem hodnoty  $Z = 1049.9 \text{ m}$ . Poloha kamery byla z ortofota určena pro prvotní výpočty a následně byla upřesněna terénním průzkumem s přesností do 1 m. Ve výpočtech se však bude nadmořská výška měnit v řádech metrů z důvodu zvýšení přesnosti.

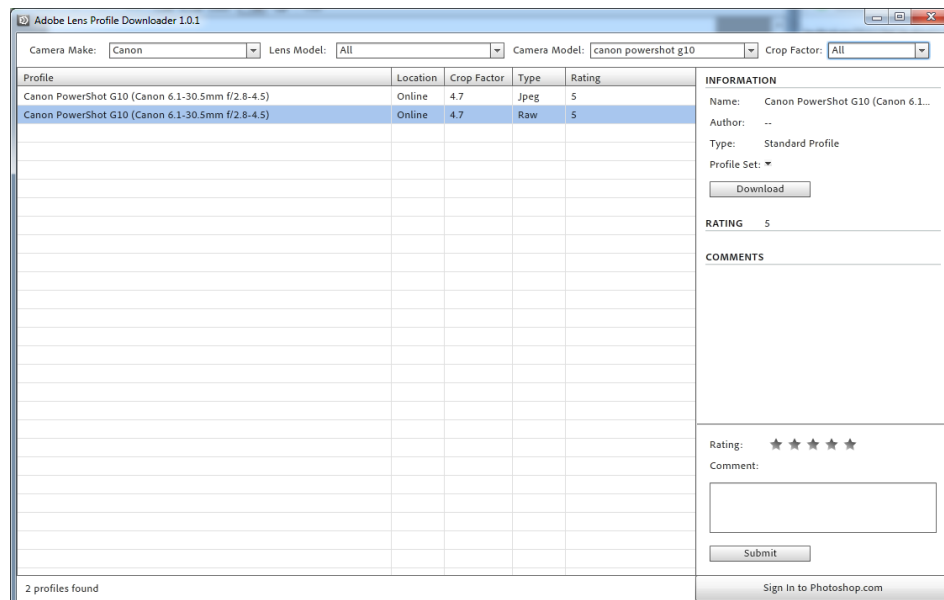
Jelikož je fotoaparát umístěn na relativně stálém místě, jeho souřadnice se téměř nemění. Vlivem větru a servisních zásahů se však často mění jeho natočení. Během období tání v roce 2014 se natočení kamery mnohokrát změnilo. Šlo o drobné pohyby kamery, které se na snímcích projeví změnou natočení kamery a na snímku se poloha objektů měnila v řádech jednotek až desítek pixelů. K drobným trvalým výchylkám kamery dochází nepravidelně v rozmezí 1 - 10 dnů. Přesná příčina změny natočení kamery není známá, pravděpodobně se mohlo jednat o poryvy větru v kombinaci s neutaženým uchycením.

#### 3.2.1 Distorze

S ohledem na umístění fotoaparátu není bohužel možná manipulace s fotoaparátem, a tak nelze určit distorzi objektivu za pomoci bodového pole, nebo jinou přesnou metodou, která se běžně používá pro kalibraci fotoaparátů. Je však možnost použít již vytvořený profil stejného typu objektivu. K tomuto účelu existuje speciální program Adobe Lens Profile Downloader 1.0.1, který umožňuje stažení spousty různých profilů objektivů a případně i v kombinaci příslušnými fotoaparáty.

Stažený profil lze použít k transformaci snímku v programech firmy Adobe: Photoshop CS6, Photoshop Lightroom 4 a v jejich novějších verzích. Transformace snímku byly provedeny dávkově v programu Adobe Photoshop Lightroom 5. Při zpracování nebyly aplikovány žádné jiné úpravy.

Obrázek 16: Adobe Lens Profile Downloader 1.0.1



*Zdroj: Vlastní screenshot při práci s programem*

Základní vady objektivu byly tímto procesem potlačeny, ale přesto zde existuje ještě jeden faktor, který ovlivňuje všechny snímky. Tím faktorem je prosklený kryt chránící celý fotoaparát před rozmary krkonošského počasí. Z elementárních optických znalostí je známo, že na rozhraní dvou prostředí s jinou optickou hustotou vzniká lom světla a ten lze na základě parametrů prostředí lehce vypočítat pomocí Snellova zákona.

Vlivem různých dopadových úhlů světla na sklo nelze bohužel jednoduše vypočítat korekci snímku. Není známa ani tloušťka skla, jeho optická hustota, roztažnost, případně natočení kamery uvnitř krytu. Z těchto důvodů a z důvodu nedostupnosti kamery zůstává tato korekce v bakalářské práci neřešena.

### 3.2.2 Určení vlíčovacích bodů

Minimální počet vlíčovacích bodů jsou 4 body pro případ, že je známa poloha kamery, ale její rotace ve 3 osách a ohnisková vzdálenost objektivu nejsou známy. Doporučuje se použít nejméně 6 vlíčovacích bodů (viz. kapitola 2.1.2.2).

Ideální rozmístění vlíčovacích bodů pro detekci sněhu z celého snímku, nebo z jeho velké části je rozmístění globální - tzn. vlíčovací body jsou rozmístěny po celém snímku. Mohou být také v zájmové oblasti zahuštěny.

Dalším typem rozmístění vlíčovacích bodů je jejich lokální umístění v zájmové oblasti. Zde je výhodou při kvalitním určení vlíčovacích bodů větší

přesnost a také se zde méně projeví případná neodstraněná geometrická vada objektivu.

V zájmové oblasti Mapy republiky se nachází velmi málo vhodných míst, kde by byla možnost přesně umístit a určit vlíčovací body a tak byly vlíčovací body určeny lokálně poblíž oblasti Mapy republiky, kde je zastoupena kleč se suťovým polem. Nejdříve byly určeny vlíčovací body na snímku, odečetly se z nich pixelové souřadnice ( $x$  a  $y$ ) a poté byly tyto body určeny na ortofotu v programu ArcGIS ( $X$  a  $Y$  souřadnice) a následně byly protnuty s DMR pro získání  $Z$  složky.

Jebavá (2013) uvedla, že zdrojovými daty pro vytvoření digitálního modelu reliéfu a digitálního modelu povrchu bylo lokální snímání území Krkonošského národního parku společností GEODIS, které proběhlo v první polovině roku 2013. Projekt byl součástí KRKONOŠE v INSPIRE – společný GIS pro ochranu přírody, který je podpořen z Operačního programu Přeshraniční spolupráce ČR-PR 2007–2013.

**Obrázek 17:** Použité vlíčovací body

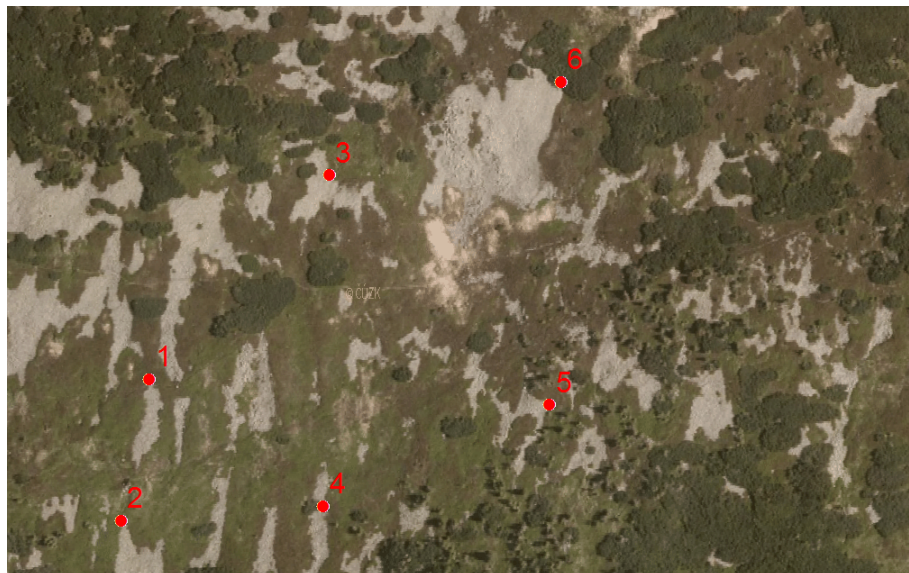


*Zdroj: Snímek HumlNET, upraveno autorem*

**Tabulka 2:** Použité vlíčovací body

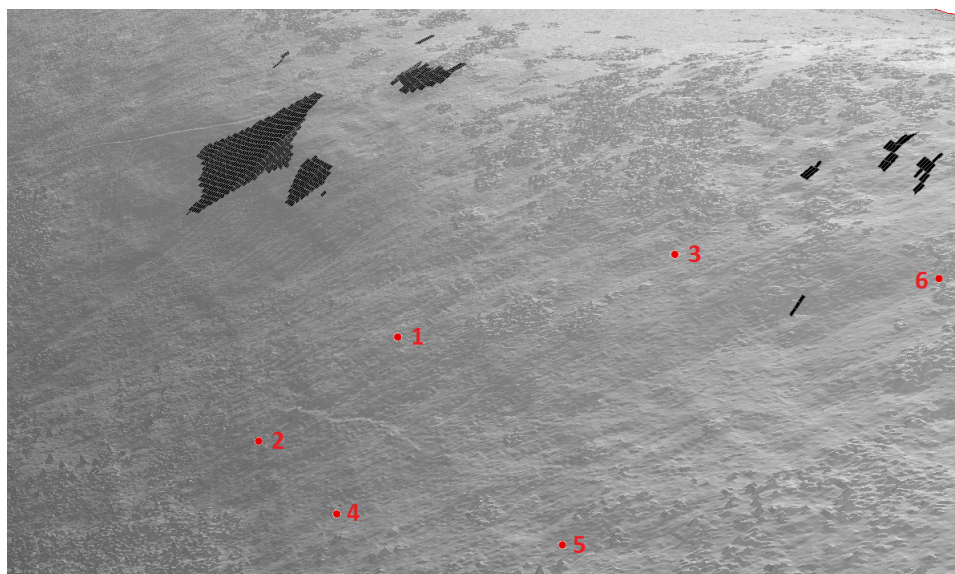
č. bodu	X	Y	Z	x	y
1	549616.352	5619369.656	1481.466	1892	1153
2	549603.797	5619344.187	1439.417	1872	1178
3	549695.540	5619486.394	1531.962	1958	1124
4	549692.973	5619340.564	1451.472	1927	1169
5	549792.662	5619385.329	1484.099	1998	1148
6	549797.444	5619527.584	1551.323	2025	1110

**Obrázek 18:** *Vlčovací body určené na ortofotu*



*Zdroj: Ortofoto ČÚZK, upraveno autorem*

**Obrázek 19:** *Vlčovací body a Mapa republiky v ArcScene*

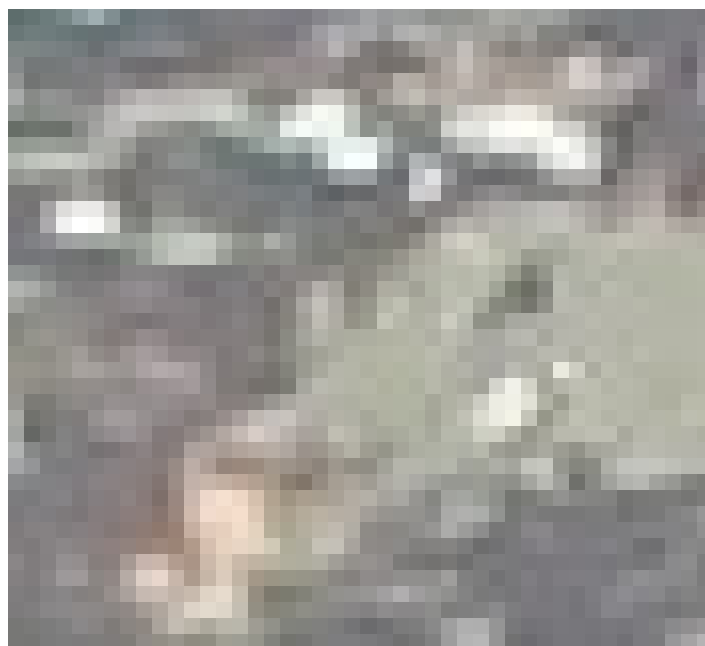


*Zdroj: Vlastní tvorba*

Nalezení přesných vlčovacích bodů je obtížné. 6 použitých vlčovacích bodů bylo detekováno nejlépe z celé oblasti. Z tohoto důvodu jsou tyto

body použity v testování. Snímky z webkamery jsou ukládány ve formátu JPEG a v kombinaci s vysokým stupněm komprese, nízkou radiometrickou a prostorovou rozlišovací schopností fotoaparátu dochází k nejednoznačnému určení přesné polohy vlíčovacích bodů. Velikost 1 pixelu odpovídá plošce o šíři přibližně 1.6 m.

**Obrázek 20:** *Komprese JPEG*



*Zdroj: Snímek HumlNET, upraveno autorem*

### 3.2.3 Výpočet rotace kamery

Výpočet rotace kamery pracuje na principu nalezení nejmenší průměrné odchylky součtu eukleidovských vzdáleností bodů s určenými 3D souřadnicemi a bodů, které jsou rotovány.

Vychází se nejdříve ze známé polohy vlíčovacích bodů v prostoru. Z jejich souřadnic XYZ a ze souřadnic kamery se vypočítá směr a vzdálenost daného bodu.

Fotoaparát není v tomto kroku rotován a z pixelových souřadnic se určí směr, kterým se bude bod zpětně protínat s DMR. Bod bude vzdálen stejně daleko od ohniska, jako je jeho předloha. Poté dojde k rotaci fotoaparátu a je snaha docílit stavu, kdy jsou vypočtené rotované body přesně promítnuty do konkrétních reálných bodů v prostoru. Algoritmus počítá průměr nejmenších průměrných odchylek vzdálenosti rotovaného a reálného bodu. Pokud bude průměrná odchylka rovna 0, znamená to, že poloha rotovaných bodů je shodná s polohou reálných bodů. Pokud má tato průměrná odchylka u kva-

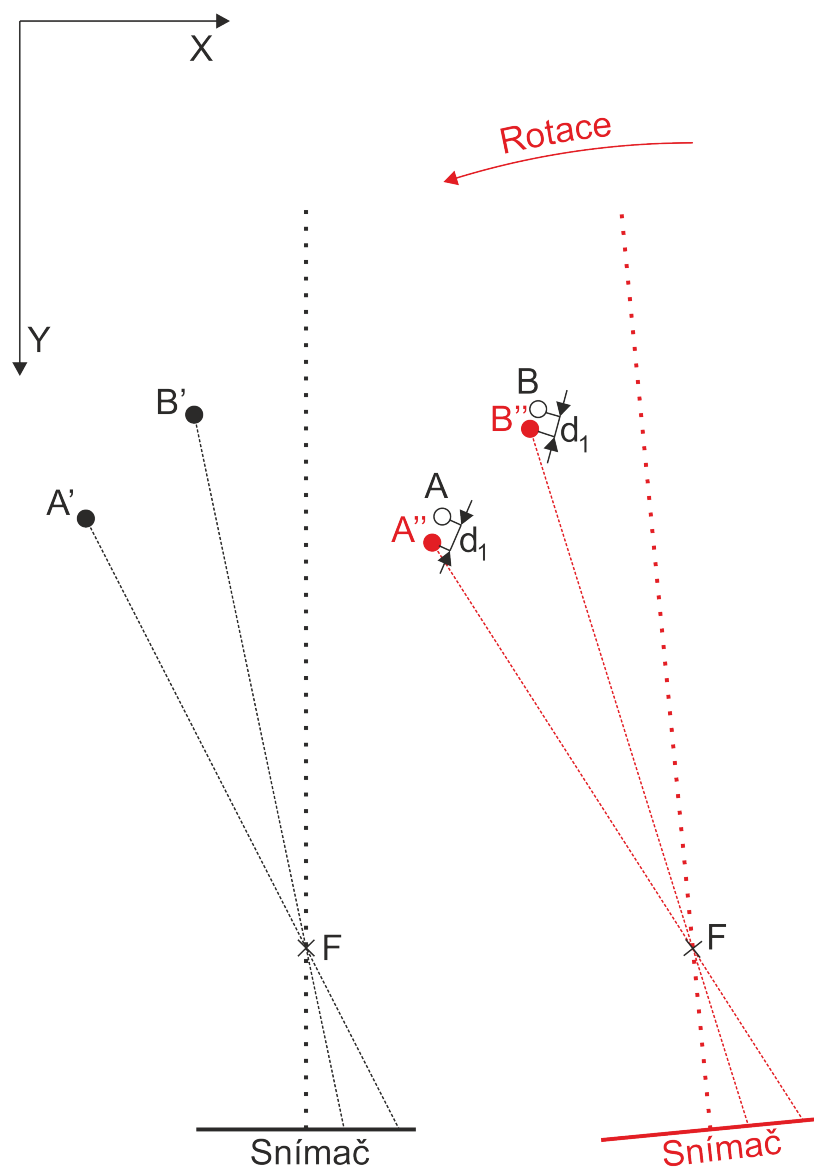
litně určených vlíčovacích bodů velikost řádově do prvních jednotek metrů, poloha kamery je kvalitně určena.

Výčet parametrů, u kterých program musí najít jejich přesnou hodnotu:

- $Z$  - nadmořská výška fotoaparátu
- $f$  - ohnisková vzdálenost fotoaparátu
- $\omega$  - rotace kolem osy  $X$
- $\varphi$  - rotace kolem osy  $Y$
- $\kappa$  - rotace kolem osy  $Z$
- (X) - volitelné hledání  $X$  polohy fotoaparátu (drobná úprava programu)
- (Y) - volitelné hledání  $Y$  polohy fotoaparátu (drobná úprava programu)

U každého parametru je určena jejich minimální a maximální hodnota a také velikost kroku, ve kterém se bude jednotlivá odchylka pro dané nastavení přepočítávat. První výpočet se provádí s poměrně velkým rozsahem všech hodnot a s velkými kroky. U dalších kroků uživatel programu zmenší interval hledání kolem hodnoty, kterou v předchozím hledání program našel a adekvátně také zmenší intervaly hledání. Lze předejít také vysoké výpočetní náročnosti - při volbě polovičních kroků ve stejně velkém intervalu vzroste výpočetní náročnost  $2^5 = 32$  násobně. Například poslední série výpočtů pro nalezení rotace kamery měla 42.6 milionu iterací a výpočetní čas trval pouhé 2 minuty a 48 sekund. V každé iteraci je však obsaženy výpočty vnitřní orientace kamery, obsáhlá rotační matice a výpočet odchylky. Tato vysoká rychlost programu je zapříčiněna použitím programovacího jazyku C, který je ze své podstaty podstatně rychlejší než Python. Průměrná odchylka testovacích vlíčovacích bodů činí  $3.23m$ , ohnisková vzdálenost kamery je  $9.41mm$ , úhel  $\omega$  činí  $-0.07002^{rad}$ , úhel  $\varphi$  je  $0.00088^{rad}$  a úhel  $\kappa$  má velikost  $-0.25508^{rad}$ .

Na následujícím nákresu jsou uvedeny vlíčovací body A a B. Body A' a B' jsou body mající polohu určenou ze snímáče, který je rotován kolem ohniska F. Body A'' a B'' jsou rotovány a při každém kroku rotace se přepočítává odchylka d, která je průměrem vzdáleností reálných bodů a rotovaných bodů.

**Obrázek 21:** *Nalezení nejmenší průměrné polohové odchylky vřícovacích bodů*

Zdroj: Vlastní tvorba

### 3.3 Kontrola viditelnosti sněhového pole

Kontrola viditelnosti sněhového pole probíhá na několika úrovních z důvodu časté oblačnosti a mlh v oblasti. Následující testy musí být v programu přítomny, jelikož by mohlo dojít k situaci, že oblak bude zaměněn za sníh a Luční se Studniční horou by byly pokryté skokově "sněhovou pokrývkou". Základní testovací sadu představuje 10 bodů, které se nacházejí zpravidla 2-3

pixels pod úrovní horizontu a mohou být rozmístěny po celé délce snímku.

**Obrázek 22:** *Kontrolní body viditelnosti horizontu*



*Zdroj: Snímek HumlNET, vlastní zpracování*

V testu bude určena jejich jasnost a k těmto bodům budou určeny párové body, které se nacházejí o 8 pixelů výše na snímku - tzn. již zabírající oblohu. Následně bude porovnáván rozdíl jejich jasností. Pixels nad a pod horizontem se musí lišit. V případě, že se hodnota jasu jednotlivých pixelů téměř neliší, znamená to, že se mezi kamerou a sněhovým polem nachází oblačnost, nebo je snímek pořízen ve tmě.




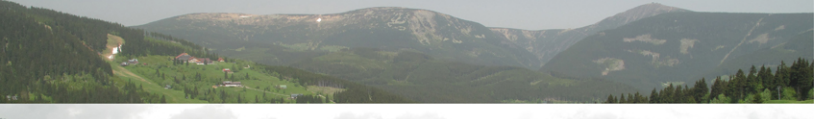
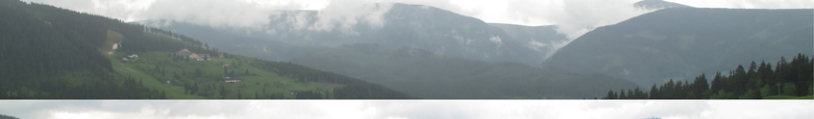
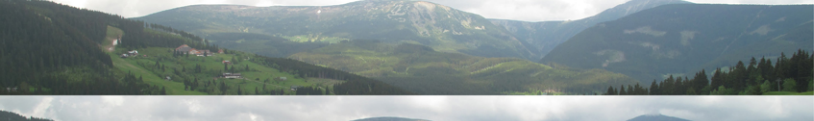
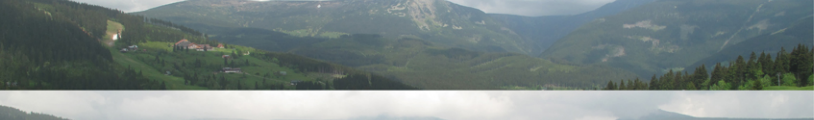


Pokud je přechod o více než 40 hodnot jasnější, bude do bodovacího systému přiděleno 10 bodů za každou takovou párovou dvojici bodů. Přechod o rozdíl hodnot jasu 21 - 39 představuje nárůst hodnocení kvality snímku o 5 bodů a rozdíl 11 - 21 hodnot znamená 2 body. Speciální případ nastane, když je na hřebeni sněhová pokrývka a jasnost povrchu hory může být i vyšší, než je jasnost oblohy. Pokud je sníh o více než 15 hodnot jasnější, do bodovacího systému bude přiděleno 5 bodů. Následný součet bodů těchto 10 pozic se pohybuje od 0 do 100 a snímek, který získal více než 50 bodů, bude označen jako kvalitní snímek.

Druhá kontrola viditelnosti zkoumá vizuální viditelnost horské chaty, která se nachází na svahu Hnědého vrchu. Chata má na snímku pixelové souřadnice [1227, 1507] a je nápadná velkým kontrastem - tmavá střecha a bílá stěna v přízemí. Na této chatě jsou určeny 3 body s velkým kontrastem v běžných podmínkách a pokud existuje rozdíl jasností mezi těmito třemi body nižší než 10, viditelnost chaty není dobrá a snímek bude označen za nekvalitní.

Do procesu vlastního zpracování fotografie bude následně vpuštěn jen ten snímek, který byl označen v obou testech jako kvalitní. Během testování výše zmíněný postup hodnocení viditelnosti efektivně vyřadil snímky, které by neměly být detekovány, jelikož mezi Mapou republiky a kamerou se nacházela oblačnost.



**Obrázek 23:** *Kontrola použitelnosti snímku z jednotlivých dnů s hodnocením*

	20.5. 2014 95 bodů
	21.5. 2014 92 bodů
	22.5. 2014 52 bodů
	23.5. 2014 67 bodů
	24.5. 2014 39 bodů
	25.5. 2014 85 bodů
	26.5. 2014 74 bodů
	27.5. 2014 6 bodů
	28.5. 2014 4 body

*Zdroj: Snímky HumlNET, vlastní tvorba*

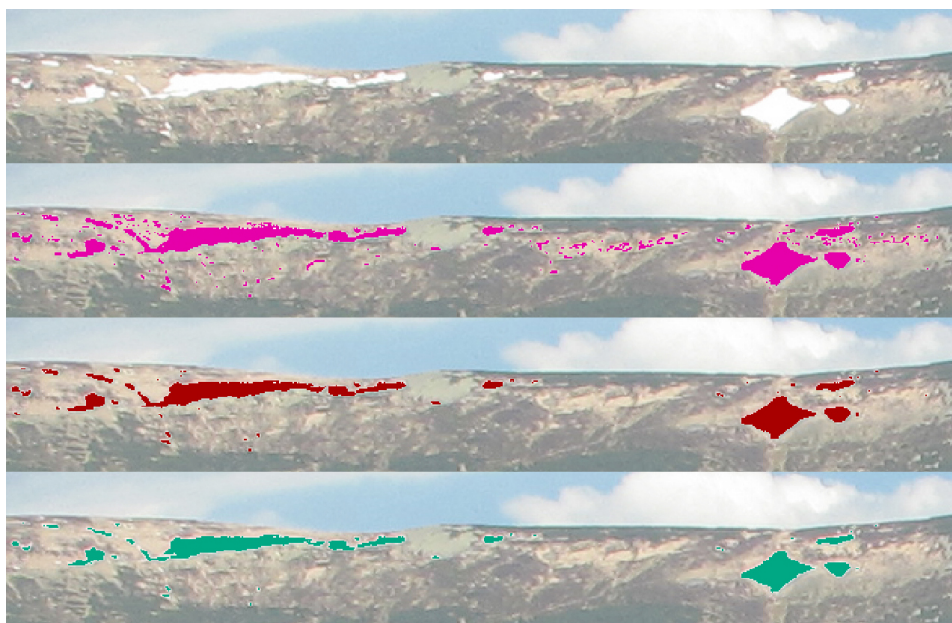
### 3.4 Detekce sněhové pokrývky

Testování detekce sněhové pokrývky zahrnovalo 3 metody, které zde budou uvedeny:

- První metoda pracuje s metodou upraveného NDSI a byla detailně popsána v kapitole 2.2.2.3.
- Druhá metoda pracuje se samostatným modrým pásmem fotoaparátu a prahová hodnota je zde pevně nastavena na hodnotu jasu 210, která se v průběhu testování více snímků nemění.
- Třetí metoda pracuje na stejném principu jako předchozí metoda, ale s tím rozdílem, že je mez pro každý snímek automaticky upravována

Testování metod detekce sněhu probíhalo na snímcích ze 20. - 22. května 2014. V každé uvedené sérii metod bude první snímek představovat referenční snímek, druhý snímek představuje metodu upraveného NDSI, třetí snímek metodu pevného prahování a poslední snímek je prahování s dynamickou prahovou hodnotou.

**Obrázek 24:** Snímek z 20. května 2014 - porovnání metod detekce sněhu

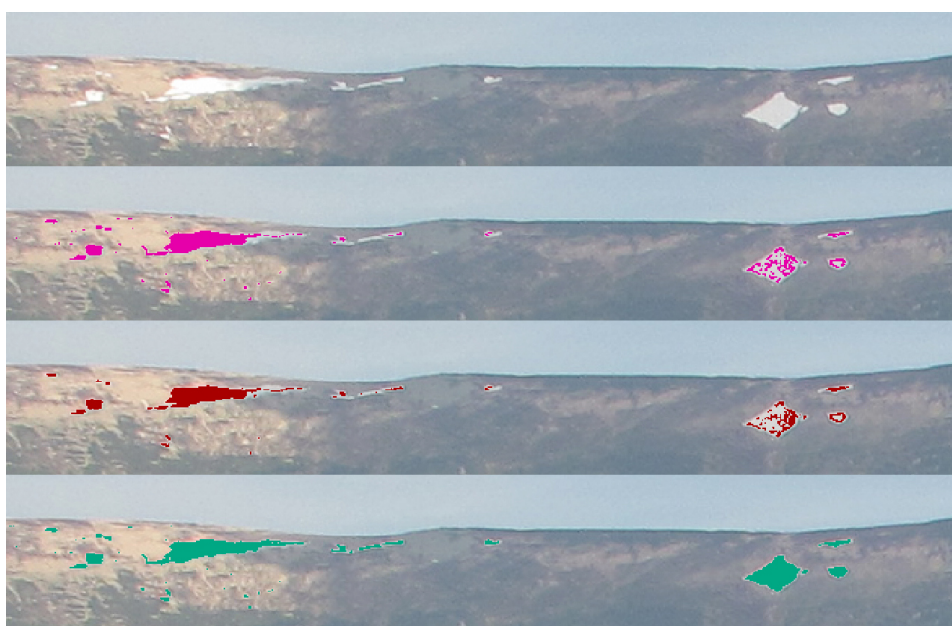


*Zdroj: Snímky HumlNET, vlastní tvorba*

Metoda upraveného NDSI chybně považovala za snímek některé světlé části suťového pole, metoda pevného prahu vykazovala lepší výsledek, který je ovlivněn limitním prahem jasu 210 a dochází zde k mírným přesahům sněhového rozhraní a detekci drobných světlých míst na suťovém poli. Snímek

detekovaný metodou dynamického prahování se zpravidla nedotýká okrajů. Tento jev je dán ztrátovou kompresí dat, která je používána v souborech typu JPEG (viz. kapitola 2.1.1.5). Radiometrie obrazu je tímto degradována. Hraniční pixely jsou tímto jevem bohužel velmi ovlivněny a případné zlepšení algoritmu v tomto případě nastane při zvýšení hodnoty, jenž se odečítá od hodnoty jasu středového pixelu. Dramatické zvýšení této hodnoty se však nedoporučuje, jelikož by mohlo dojít v mírně přeexponovaných fotografiích k detekování pixelů, které nejsou sněhem.

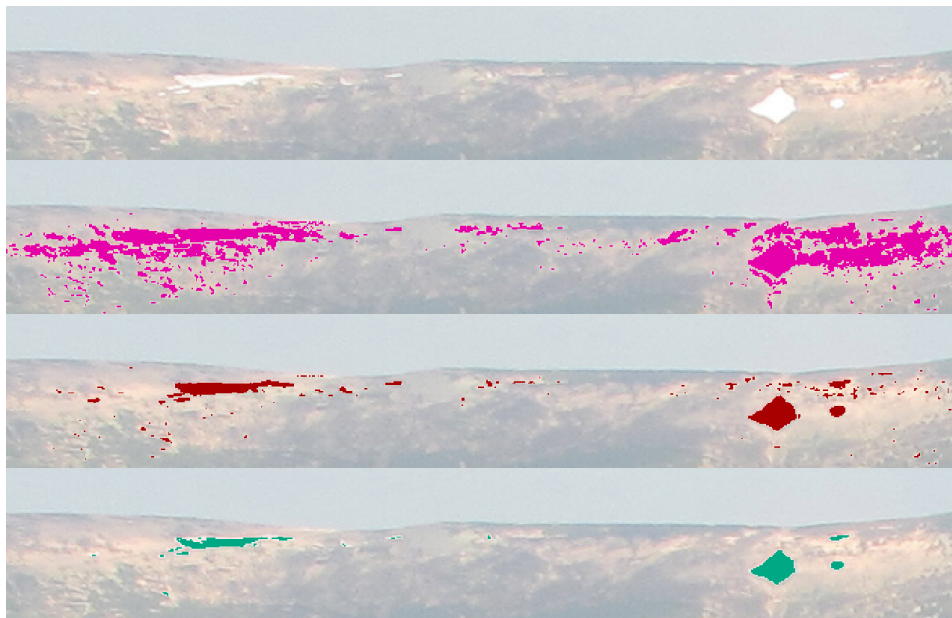
**Obrázek 25:** *Snímek z 21. května 2014 - porovnání metod detekce sněhu*



*Zdroj: Snímky HumlNET, vlastní tvorba*

Snímek z 21. května 2014 je podexponován v pravé části a přeexponován v levé části. Metoda upraveného NDSI v levé části snímku detekuje i několik pixelů, které nejsou sněhem, a v pravé podexponované části detekuje pouze část sněhového pole. Metoda pevného prahování při limitním prahu 210 nedovolí detekovat část sněhu v hlavní části Mapy republiky. Při snížení limitní hodnoty dochází v jinak exponovaných snímcích k chybné záměně světlého povrchu hory za sněh. Metoda dynamického prahování umožní obstojně detekovat plošky po celém snímku. Velmi dobře byl také detekován přechod mezi částmi sněhu, které jsou nezastíněné i zastíněné.

**Obrázek 26:** Snímek ze 22. května 2014 - porovnání metod detekce sněhu

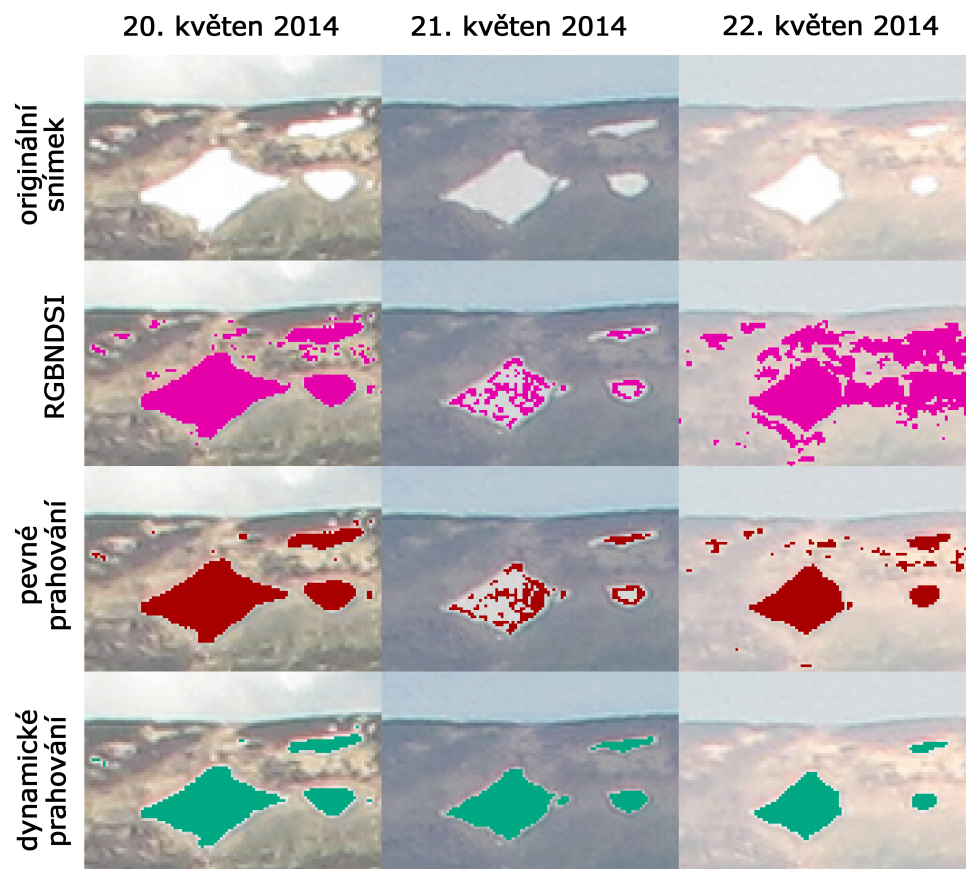


*Zdroj: Snímky HumlNET, vlastní tvorba*

Poslední snímek, který je ze 22. května 2014, ukazuje robustnost jednotlivých metod při přexponování snímku. Metoda upraveného NDSI zde není pro detekci sněhu použitelná, metoda pevného prahu také vykazuje velmi špatné výsledky v podobě sněhu v místech světlého povrchu hory. Je zde také i několik míst, kdy člověk není schopen určit, zda se tam nachází sníh, nebo je to jen velmi světlý povrch.

Pouze metoda dynamického prahování modrého pásma spolehlivě detekovala sníh v oblasti Mapy republiky a je zde pouze jeden nedostatek - nebyla detekována část sněhového pole v levé části snímku. Je to ovlivněno oblakem, který vrchní část onoho sněhového pole zastiňuje. Tento sníh není možno ze snímku spolehlivě detekovat, jelikož jasnost tmavého sněhu se velmi přibližuje jasnosti velmi světlého povrchu hory a pokud by se podle tohoto snímku přizpůsobil dynamický práh, tak v aplikaci na světlých částech sněhu, nebo jiných snímcích může dojít k enormním přesahům přes hranici sněhového pole (vlivem komprese JPEG). S ohledem na výsledky metody dynamického prahování bude tato dynamického prahování použita ve výpočtech.



Obrázek 27: *Detaily metod detekce sněhu Mapy republiky z 20. - 22. května 2014*

*Zdroj: Snímky HumlNET, vlastní tvorba*

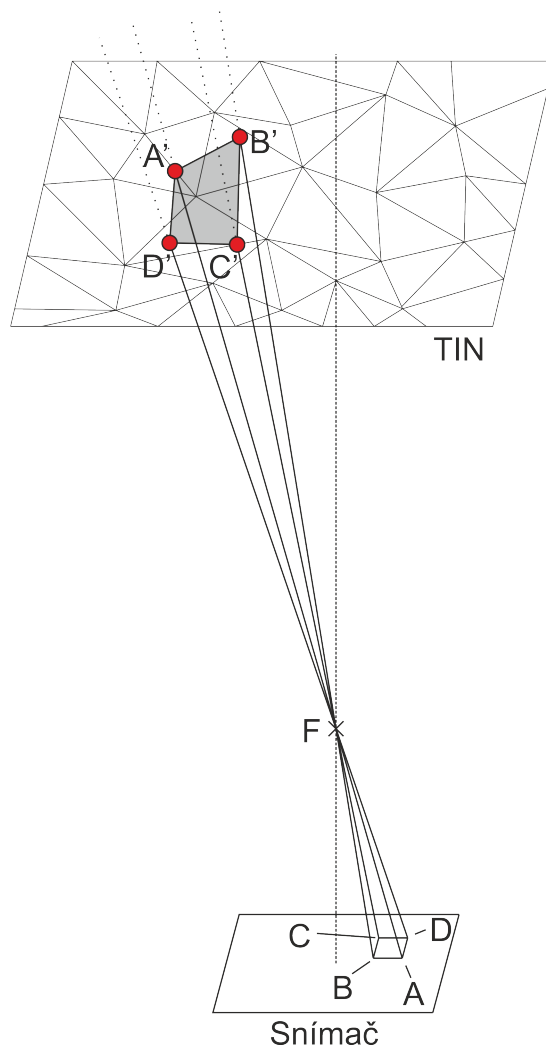
### 3.5 Zpětné promítání na DMR

Detekovaný sníh je potřeba metodou zpětného protínání promítnout na DMR. Jsou známy pixelové souřadnice sněhu a za pomoci základní geometrie se vypočítá směr, kterým daný pixel bude ležet. Jelikož je pixel plošný útvar, do výpočtu budou vstupovat rohy pixelu. Podobě jako v kapitole zabývající se nalezením rotace kamery, bude potřeba určit přesnou vzdálenost bodu pro vygenerování. Jelikož vzdálenost bodu od DMR není předem známá, je nutno určit bod dále, než je DMR od kamery. Pro potřeby výpočtů byla tato vzdálenost určena jako 10 km.

Po určení polohy bodů jsou generovány 3D úsečky, které mají počátek v ohnisku fotoaparátu a koncový bod mají 10 km daleko směrem, kterým leží daná sněžná plocha. Tyto úsečky se poté protnou s DMR a vytvoří průnikové body. Zde je možno pozorovat velké množství jevů, které s průnikem s DMR souvisí. Je nutno znovu zdůraznit, že 1 pixel se skládá ze 4 úseček, které de-

finují rohy pixelu.

**Obrázek 28:** Rekonstrukce pixelu na TIN



*Zdroj: Vlastní tvorba*

#### Situace průniků úseček s DMR

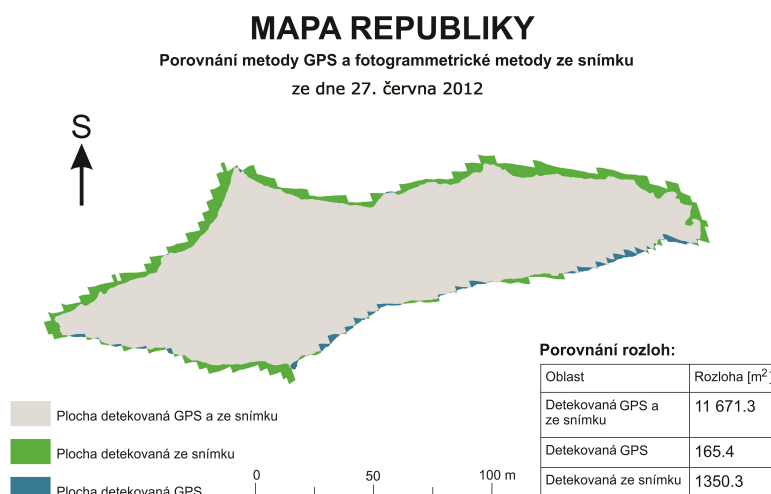
- Žádná z úseček neprotíná DMR - pixel nebude do výpočtu sněhu zahrnut
- DMR protíná 3 a méně úseček - okrajový pixel nebude do výpočtu zahrnut
- Všechny úsečky protínají DMR - pixel bude do výpočtu sněhu zahrnut

- 
- Vícenásobný průnik úseček s DMR - např. smrček, nebo svah na druhé straně hory - bude do výpočtu zahrnuta první interakce úsečky s DMR

## 4 Diskuze

Porovnání referenčních dat změřených GPS pracovníkem KRNAP s metodou snímkové detekce sněhu bylo bohužel umožněno jen na snímku ze 27. června 2012 z důvodu dodání dat pouze jednoho měření správou KRNAP.

**Obrázek 29:** Mapa Mapy republiky ze dne 27. června 2012 - porovnání metody GPS se snímkovou metodou



*Zdroj: Snímek HumlNET, referenční data poskytnuta správou KRNAP, vlastní zpracování*

Měření za pomoci metody GPS poskytuje přesnější a detailnější výsledky, než fotogrammetrická metoda. Rozloha hlavní části sněhového pole Mapy republiky je 11 836.7 m<sup>2</sup> prostřednictvím GPS metody a fotogrammetrická metoda určila plochu sněhového pole 13 021.6 m<sup>2</sup>. Pokud budeme považovat metodu GPS za bezchybnou, odchylka rozlohy Mapy republiky měřené fotogrammetrií činí cca 10 %. Tento rozdíl může být také způsoben denní dobou měření a pořízením snímku, jelikož v denních teplotách pohybujících se kolem 15 °C (zjištěno z pozice Bouda na Muldě, HumlNET) sníh taje rychle. Na tento rozdíl má mimo jiné také vliv přesnost určení prvků vnější orientace kamery a také odchylky na vlícovacích bodech. Pro získání přesné polohy bylo nutno upravit vlícovací body a ladit rotaci kamery, aby byla v souladu s referenčními daty. Nejvýraznější vliv na snímek má však odstranění distorze objektivu. Teprve poté lze docílit vysoké přesnosti v řádu jednotek několika metrů.

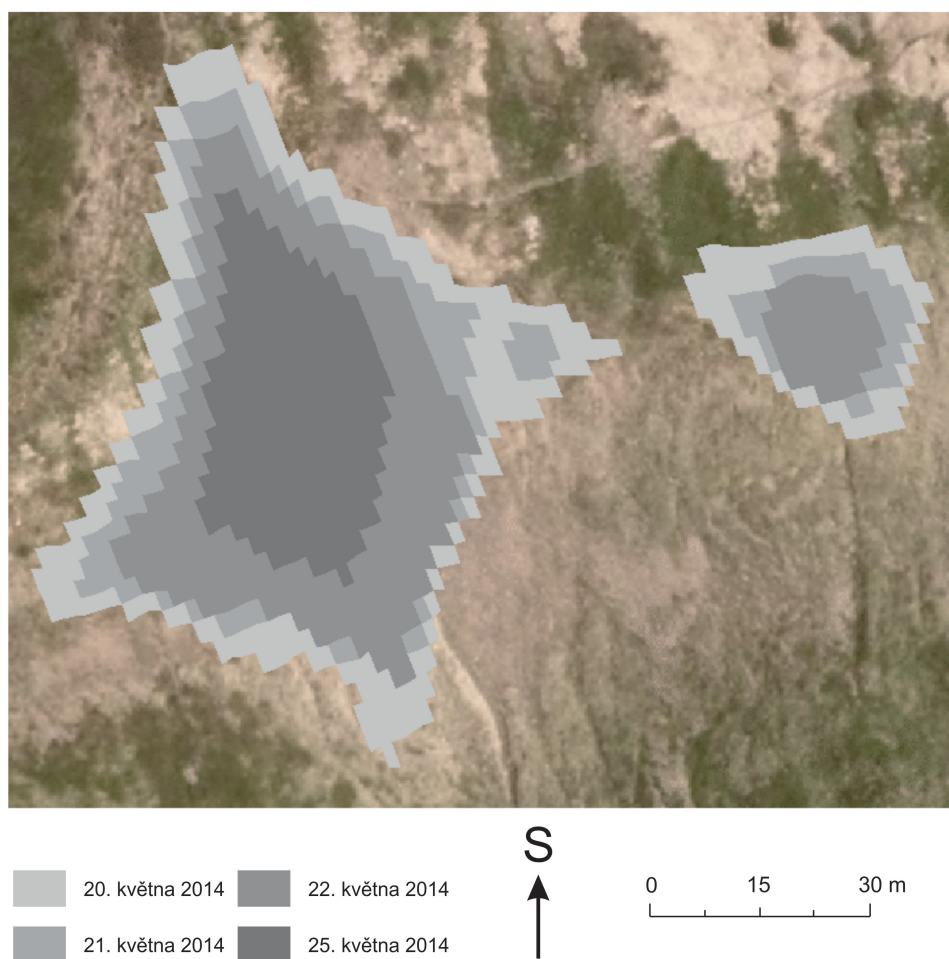
Na následující mapě se nachází zmenšující se plocha centrální části Mapy republiky z května roku 2014. Jednotlivé vrstvy vznikly zpracováním snímků



z příslušného dne nezávisle na sobě. V těchto dnech nedocházelo k drobným výchyilkám kamery a také nenapadl další sníh.

Obrázek 30: *Tání Mapy republiky*

## TÁNÍ SNĚHOVÉHO POLE MAPA REPUBLIKY



*Zdroj: Snímek HumlNET, Ortofoto ČÚZK, vlastní zpracování*

## 5 Závěr

Je zřejmé, že prolnutí standardních fotogrammetrických metod s běžnou fotografií může být efektivní. Tato práce si brala za cíl nahradit, či doplnit ruční měření s GPS, které je náročné na čas a lidské zdroje. Bohužel zatím má práce omezení, která tkví především ve velmi častých drobných pohybech kamery, které byly zaznamenány období tání sněhu z roku 2013 nejméně 17x a v roce 2014 nejméně 23x s tím, že změna natočení kamery proběhla náhodně zpravidla po 1 - 8 dnech. Souvisí to s největší pravděpodobností s nepříliš pevným uchycením kamery a větrem.

Autor práce musí uznat, že metoda je náročnější na kalibraci kamery (určení vlíčovacích bodů, nalezení správné rotace), ale po správném nastavení může být průměrná odchylka nižší než 1.5 m. Vzhledem ke vzdálenosti sněhového pole (5700 m), kompresi JPEG a transformaci snímku podle profilu objektu je tato odchylka velmi nízká. Musí být také zmíněna šíře pixelu promítnutého na povrch DMR, která je přibližně 1.6 m v závislosti na reliéfu. Přesnějších výsledků lze docílit volbou jiného fotoaparátu (případně měřicí komorou), nastavením vyšší ohniskové vzdálenosti, ukládáním snímků alespoň do formátu TIFF, nebo přesnější detekcí kontrolních bodů.

Tato metoda však skrývá do budoucna potenciál. Může být doplněna o plně automatizované určení rotace kamery na základě kontrolních oblastí. Program bude vyžadovat několik jasně definovaných vzorů o určité velikosti - může se jednat například o část boudy, nebo výrazný geomorfologický útvar. Daný vzor bude poté hledán na další fotografii pixel po pixelu kolem původního místa. Z nových souřadnic stejného vzoru bude určena aktuální rotace kamery a systém tak bude plně automatizován.

Metoda automatizované detekce sněhové pokrývky, jež byla řešena v této práci, umožňuje také zpětně získat informace o rozloze Mapy republiky a při dobré kalibraci kamery dokáže být konkurenceschopná k GPS metodě. Nepřekoná ji však prostorovým rozlišením, ale bude mít mnohem lepší časovou rozlišovací schopnost.

## 6 Seznam literatury

HANZL, V. (1986): Přímá lineární transformace snímkových souřadnic s eliminací radiálního zkreslení objektivu. *Geodetický a kartografický obzor*, 37/74, 5.

HINKLER, J., PEDERSEN, S., RASCH, M., HANSEN, B. (2002): Automatic snow cover monitoring at high temporal and spatial resolution, using images taken by a standard digital camera. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 4669-4682.

JEBAVÁ, L. (2013): Využití dat leteckého laserového scanování k detekci agrárních forem reliéfu v Krkonoších. *Bakalářská práce. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, Praha*, 63 s.

KOLÁŘ, J. (1990): *Dálkový průzkum Země. SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha.*

LUHMANN, T., ROBSON, S., KYLE, S., HARLEY, I. (2006): *Close Range Photogrammetry: Principles, Methods and Applications. Whittles, UK*, 528s.

*Mapa Československé republiky (1937). Vojenský zeměpisný ústav v Praze, 1. vydání.*

PAVELKA, K. (2003): *Fotogrammetrie 10. Vydavatelství ČVUT, Praha.*

PAVELKA, K. (2003): *Fotogrammetrie 20. Vydavatelství ČVUT, Praha.*

ROMANOV, P., GUTMAN, G., CSISZAR, I. (2000): Automated monitoring of snow cover over North America with multispectral satellite data. *Journal of Applied Meteorology*, 39, 1866–1880.

SALVAROTI, R. (2011): Snow cover monitoring with images from digital camera systems. *Italian Journal of Remote Sensing*, 43 (2), 137-145.

SAUNDERS, R. W. (1986): An automated scheme for the removal of cloud contamination from AVHRR radiances over western Europe. *Int. J. Remote Sens.*, 7, 867–886.

VÁLA, O. (2011): Využití digitálního fotoaparátu v kartografické reprodukci. *Diplomová práce. Katedra mapování a kartografie FS ČVUT, Praha*, 133s.

VRBA, M. (1964): Sněhová akumulace v lavinové oblasti Modrého dolu v Krkonoších. *Opera Corcontica*, 1, 55-69.

## Elektronické zdroje:

Adobe Lens Profile Downloader 1.0.1. Dostupné z: <http://www.adobe.com/support/downloads/detail.jsp?ftpID=5492>, [cit. 30. března 2015].

ArcGIS Resources: Help [online]. Dostupné z <http://resources.arcgis.com/en/help/>.

ATKINS, B. (2008): RAW, JPEG and TIFF [online]. Dostupné z: <http://photo.net/learn/raw/>, [cit. 15. května 2015].

Baader Planetarium: Baader ACF Fotografische DSLR Astro Conversion Filter. Dostupné z: [http://www.baader-planetarium.de/sektion/s45/bilder/vergleich\\_400d\\_baader\\_bcf\\_gross.jpg](http://www.baader-planetarium.de/sektion/s45/bilder/vergleich_400d_baader_bcf_gross.jpg), [cit. 18. května 2015].

DPanswers.com: IR Photography [online]. Dostupné z: <http://dpanswers.com/content/irphoto.php>, [cit. 18. května 2015].

DVOŘÁK, J. (2005): Odhalené tajemství Mapy republiky. Časopis Krkonoše - Jizerské hory, 2005, 9 [online]. Dostupné z: [http://krkonose.krnep.cz/index.php?option=com\\_content&task=view&id=7359&Itemid=3](http://krkonose.krnep.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=7359&Itemid=3), [cit. 12. února 2015].

EUMetrain (2015): Climatology of snow cover and snow water equivalent based on satellite data [online]. Dostupné z: [http://www.eumetrain.org/data/3/358/print\\_2.htm](http://www.eumetrain.org/data/3/358/print_2.htm), [cit. 27. dubna 2015].

Fotoaparát Canon PowerShot G10, internetový magazín Digimanie [online]. Dostupné z: <http://www.digimanie.cz/canon-powershot-g10/produkt>, [cit. 29. března 2015].

JANZEN, K. (2012): Moiré processing [online]. Dostupné z: <https://kyle-janzen.wordpress.com/2012/03/13/moire-processing/>, [cit. 15. května 2015].

KODAK (1996): Kodak Digital Science DC50 zoom camera [online]. Dostupné z: <http://www.kodak.com/global/en/service/digCam/dc50/manual/dc50english.pdf>, [cit. 20. května 2015].

LITTLEFIELD, R. (2006): Theory of the “No-Parallax” Point in Panorama Photography, Verze 1.0 [online]. Dostupné z: <http://www.janrik.net/PanoPostings/NoParallaxPoint/TheoryOfTheNoParallaxPoint.pdf>, [cit. 2. dubna 2015].

Mapový server Správy KRNAP (2015): Ortofoto KRNAP 2012 [online]. Dostupné z: <http://gis.krnep.cz/map/>, [cit. 21. května 2015].

NEWTON, J. (2013): Snow Cover Detection Methodology Using Landsat [online]. Dostupné z: <http://julianewton88.wix.com/landsatsnowcover#>

!ndsi/cq48, [cit. 23. dubna 2015].

Ortofoto ČÚZK (2014) [online]. Dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(tdwu0p3xlkojndhnnmnoo5wo\)\)/Default.aspx?menu=3121&mode=TextMeta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-ORTOFOTO-P&metadataXSL=metadata.sluzba](http://geoportal.cuzk.cz/(S(tdwu0p3xlkojndhnnmnoo5wo))/Default.aspx?menu=3121&mode=TextMeta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-ORTOFOTO-P&metadataXSL=metadata.sluzba), [cit. 18.5. 2015].

PAVELKA, K. (2000): 150 let fotogrammetrie (1. část) [online]. Zeměměřič, 2000/3. Dostupné z url: <http://www.zememeric.cz/3-00/fotogrammetrie.html>.

STENSVOLD, M. (2014): The Low-Pass Filter [online]. Dostupné z: <http://www.dpmag.com/cameras/slrs/the-low-pass-filter>, [cit. 15. května 2015].

Stránky výrobce fotoaparátů Canon: Canon PowerShot G10 [online]. Dostupné z: [http://www.canon.cz/for\\_home/product\\_finder/cameras/digital\\_camera/powershot/powershot\\_g10/](http://www.canon.cz/for_home/product_finder/cameras/digital_camera/powershot/powershot_g10/), [cit. 29. března 2015].

Terminologický slovník VÚGTK : Distorze objektivu [online]. Dostupné z: [https://www.vugtk.cz/slovník/5208\\_distorze-objektivu](https://www.vugtk.cz/slovník/5208_distorze-objektivu), [cit. 30. března 2015].

Terminologický slovník VÚGTK : Prvky vnější orientace [online]. Dostupné z: [https://www.vugtk.cz/slovník/termin.php?jazykova\\_verze=&tid=6385&l=prvky-vnejsi-orientace](https://www.vugtk.cz/slovník/termin.php?jazykova_verze=&tid=6385&l=prvky-vnejsi-orientace), [cit. 22. května 2015].

Terminologický slovník VÚGTK : Vlíčovací bod [online]. Dostupné z: [https://www.vugtk.cz/slovník/1299\\_vlicovaci-bod](https://www.vugtk.cz/slovník/1299_vlicovaci-bod), [cit. 16. dubna 2015].

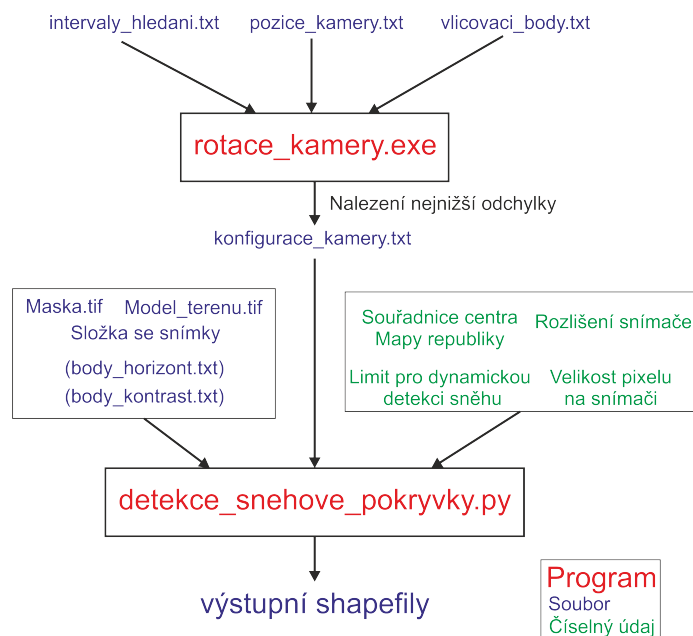
Webová kamera HUMLNET, pozice: Pec pod Sněžkou, Bouda na Muldě. Fotografie v plném rozlišení od 23. března 2008 do 3. října 2014. Webová kamera dostupná online z: <http://kamery.huml.net.cz/cz/kamery/>

## 7 Přílohy

### Obsah CD:

- **info.txt** - informace o použití a spuštění skriptů
- **detekce\_snehove\_pokryvky** - hlavní program bakalářské práce.  
Umožňuje detekovat na fotografii sníh a zjistit jeho polohu v prostoru po promítnutí pixelů na DMR.
- **porovnani\_metod\_detekce\_snehu** - krátký program pro nalezení optimálního nastavení detekce sněhu za použití různých metod. Lze využít i k porovnání.
- **referencni\_data** - zde se nachází shapefile získaný správou KRNAP z GPS měření, snímek HumlNET ze stejného dne a shapefile, který vznikl programem na detekci sněhové pokrývky s manuálním doladěním pozice kamery podle referenčních dat.
- **rotace\_kamery** - v této složce se nachází zdrojový kód a program na vyhledání rotace kamery

Obrázek 31: Workflow programu



Zdroj: Vlastní zpracování